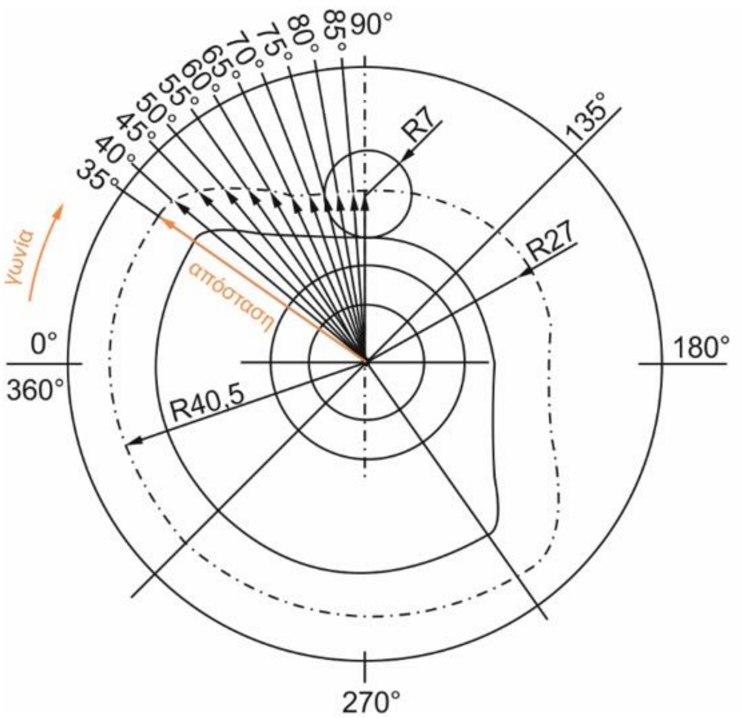
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ Η/Υ

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΠΟ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗΣ



ΑΝΤΩΝΙΑΔΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΧΑΝΙΑ 2023

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Νικόλαο Μπιλάλη για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας!

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί η παραμετρική αναπαράσταση καμπυλών από εξισώσεις, στο σύστημα σχεδιομελέτης NX 12.0 Siemens. Θα γίνει μαθηματική ανάλυση των παρουσιαζόμενων καμπυλών, ξεκινώντας από εύκολες σχεδιαστικά καμπύλες (π.χ. κύκλος), καταλήγοντας σε πιο σύνθετες (π.χ. Bezier). Ο σχεδιασμός και η μετατροπή των καμπυλών θα γίνει μέσα από το εργαλείο εκφράσεων (Expressions) του NX. Θα πραγματοποιηθεί ανάλυση ανά βήμα της διαδικασίας συμπλήρωσης του πίνακα Expressions, με σκοπό την παρουσίαση του συγκεκριμένου εργαλείου μέσα από παραδείγματα. Τα παραδείγματα που περιλαμβάνονται θα καλύπτουν ένα φάσμα δυσκολίας και απαιτήσεων, ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο πλήρης περιγραφή της χρήσης του Expressions για την σχεδίαση καμπυλών από το μηδέν, αλλά και για την άμεση μετατροπή των ήδη υπαρχόντων / σχεδιασμένων. Σκοπός της εργασίας είναι να αποτελέσει οδηγό για την χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου στο CAD λογισμικό NX 12.0 Siemens.

2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Οι παραμετρικές εξισώσεις, ορίζουν ένα σύνολο ποσοτήτων ως συναρτήσεις μιας ή περισσοτέρων ανεξαρτήτων μεταβλητών (παράμετροι). Συνήθως χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν τις συντεταγμένες ενός πλήθος σημείων, τα οποία συνθέτουν ένα γεωμετρικό αντικείμενο και ονομάζονται παραμετρική αναπαράσταση ή παραμετροποίηση του αντικειμένου.

Στα συστήματα σχεδιομελέτης, οι καμπύλες περιγράφονται είτε με την πεπλεγμένη εξίσωση (μη παραμετρική), είτε με την παραμετρική. Στην παραμετρική εξίσωση, χρησιμοποιούνται εξισώσεις με μορφή $x = X(u)$, $y = Y(u)$ και $z = Z(u)$, στις οποίες κάθε συντεταγμένη του σημείου εκφράζεται με έμμεσο τρόπο, μέσω της παραμέτρου ορισμού της καμπύλης u. Οι τιμές βρίσκονται συνηθέστερα, όχι όμως απαραιτήτως, στο διάστημα [0,1], όπου η αρχή της καμπύλης αντιστοιχίζεται με την τιμή $u = 0$, και το τέλος της με την τιμή $u = 1$. Οι εξισώσεις αυτές, ονομάζονται κι **ελεύθερες**, κατά x,y,z .

Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται συγκεκριμένα στα συστήματα σχεδίασης, καθώς έχει ως προτέρημα τον υπολογισμό σημείων της καμπύλης για συγκεκριμένες τιμές της παραμέτρου u. Δηλαδή, επιτρέπει την άμεση εκτίμηση σημείων που βρίσκονται πάνω στην καμπύλη, με απλή αντικατάσταση της τιμής της παραμέτρου ορισμού της καμπύλης. Ακόμη, έχει τη δυνατότητα να αναπαραστήσει με ευκολία κλειστές ή αυτοτεμνόμενες καμπύλες (καμπύλες με πολλαπλότητα στα σημεία), καθώς και να υπολογίσει διάφορα διανυσματικά μεγέθη (π.χ. διάνυσμα που εφάπτεται σε σημείο της καμπύλης) αντίστοιχα. Επιπλέον υπάρχει εύκολη υλοποίηση των μετασχηματισμών, καθώς και της μεταφοράς τους σε άλλο σύστημα συντεταγμένων, λόγω της ανεξάρτητης σχέσης της εξίσωσης με το σύστημα συντεταγμένων.

Μειονέκτημα της εξίσωσης αποτελεί η δυσκολία της επαλήθευσης εάν ένα τυχαίο σημείο με γνωστές συντεταγμένες, ανήκει σε καμπύλη, γι αυτό απαιτείται ο προσδιορισμός της παραμέτρου ορισμού της καμπύλης (u), για κάθε συντεταγμένη, και η επαλήθευση των ευρισκόμενων τιμών.

1.1 Διανυσματική απεικόνιση παραμετρικής εξίσωσης

Οι παραμετρικές εξισώσεις μπορούν να εκφραστούν και με μορφή διανυσματικής απεικόνισης:

$$r = C(u)$$

όπου:

r: το διάνυσμα θέσης του σημείου στην καμπύλη για δεδομένο u και **C(u)** η διανυσματική συνάρτηση ορισμού της καμπύλης ως προς u.

Η παραμετρική αναπαράσταση χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα CAD, καθώς υλοποιεί πιο εύκολα λειτουργίες όπως:

- Τη σχεδίαση ενός ορισμένου τμήματος της καμπύλης (προβολή τμήματος καμπύλης μεταξύ ορίων παραμέτρου ορισμού u.
- Τον υπολογισμό διαδοχικών σημείων πάνω στην καμπύλη (αντικατάσταση των διαδοχικών τιμών της παραμέτρου ορισμού u, στην εξίσωση ορισμού)
- Τον προσδιορισμό ενός ορισμένου σημείου πάνω στην καμπύλη (άμεση αντικατάσταση της παραμέτρου ορισμού στην εξίσωση)

Η παραμετρική αναπαράσταση δεν έχει μόνο μια σημασία, καθώς, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο παράδειγμα, η ίδια αναπαράσταση μπορεί στη μία έκφρασή της να περιλαμβάνει τριγωνομετρικές εξισώσεις, ενώ στην άλλη ρητές κλασματικές.

Παράδειγμα: Παραμετρική εξίσωση τεταρτημόριου:

1η έκφραση: $x(u) = \cos(u)$,

$y(u) = \sin(u)$, με $0 \leq u \leq \frac{\pi}{2}$

2η έκφραση: $x(u) = (1 – u2) / (1 + u2)$,

$y(u) = 2u / (1 + u2)$, με $0 \leq u \leq 1$

1.2 Παραμετρική αναπαράσταση ευθείας και ευθύγραμμου τμήματος

Θεωρώντας μια συνάρτηση δύο μεταβλητών f(x,y), με ισότητα με το μηδέν, τότε για δεδομένο x_0, μπορεί να υπολογιστεί τιμή για το y_0, μέσα από τη σχέση f(x,y)=0. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για τα σημεία που ανήκουν σε ένα σύνολο τιμών A, ορίζεται συνάρτηση f(x,y)=0, καλούμενη **πεπλεγμένη συνάρτηση**.

Ωστόσο, υπάρχουν κι άλλοι τρόποι ορισμού ενός σχήματος. Αν υπάρχει δυνατότητα έκφρασης των x και y με συναρτήσεις μιας ανεξάρτητης μεταβλητής t, δηλαδή x=f(t) και y=g(t), τότε το παραπάνω ζεύγος εξισώσεων ονομάζεται παραμετρική εξίσωση της καμπύλης C.

Στην περίπτωση της ευθείας, υπάρχει δυνατότητα ορισμού της από δύο σημεία P_1 και P_2, είτε από ένα σημείο P κι ένα διάνυσμα ή συντελεστή διεύθυνσης, ή ακόμη και με βάση άλλη ευθεία. Οι ευθείες χωρίζουν τα σημεία του χώρου σε δύο επιμέρους σύνολα, στο σύνολο των σημείων που ανήκουν στην ευθεία, και στο σύνολο των σημείων που δεν ανήκουν σε αυτή. Μια ευθεία ορίζεται ως:

$$ax+by=c \text{ όπου } |a| + |b| \neq 0$$

Στην περίπτωση του ευθύγραμμου τμήματος, ορίζεται από δύο σημεία, το σημείο αρχής και το σημείο τερματισμού, P_1 και P_2. Σύμφωνα με αυτά τα σημεία ορίζεται η παραμετρική εξίσωση του ευθύγραμμου τμήματος, η οποία παρουσιάζεται ως:

$$C(u) = P_1 + u(P_2 + P_1) = C(0) + u(C(1) – C(0))$$

όπου:

C(u): το διάνυσμα θέσης ενός σημείου του ευθύγραμμου τμήματος, $\mathbf{P_1}$**,** $\mathbf{P_2}$ τα διανύσματα θέσης των ακραίων σημείων και **u** η παράμετρος ορισμού του ευθύγραμμου τμήματος

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες δίνονται αντίστοιχα από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$X = X_1 + u(X_2 – X_1)$$

$$Y = Y_1 + u(Y_2 – Y_1)$$

$$Z = Z_1 + u(Z_2 – Z_1)$$

Η εφαπτομένη με διεύθυνση C' , καθώς και το μοναδιαίο διάνυσμα n ορίζονται ως:

$$C' = P_2 – P_1$$

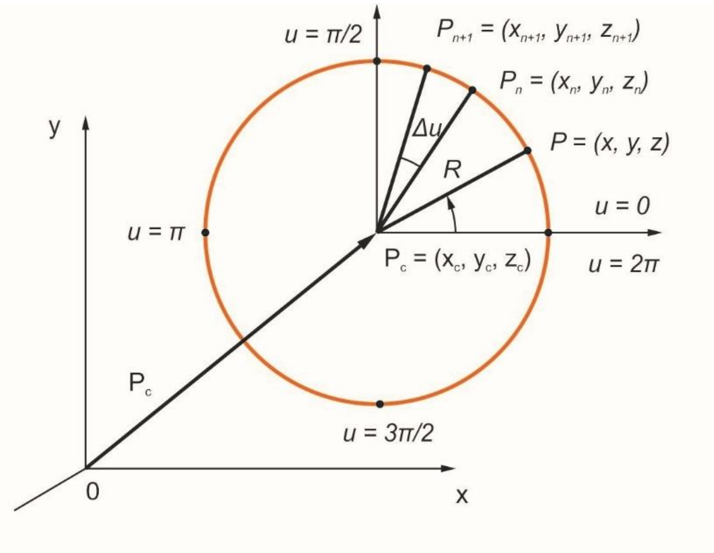
$$n= (P_2 – P_1)/l,$$

όπου **l** το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος.

Για τον ορισμό της γραμμής, στη βάση δεδομένων καταχωρούνται, πέραν του επιπέδου σχεδίασης, τα δύο άκρα της γραμμής, το είδος, το πάχος, το χρώμα κ.λπ.

1.3 Παραμετρική αναπαράσταση κύκλου και τόξου

Κύκλος ονομάζεται ο γεωμετρικός τόπος των σημείων ενός επιπέδου, τα οποία ισαπέχουν από το κέντρο του, κατά απόσταση r. Θεωρείται κέντρο του κύκλου το σημείο (X_c, Y_c). Στη βάση δεδομένων καταχωρούνται, πέραν του επιπέδου σχεδίασης, η ακτίνα του κύκλου και οι συντεταγμένες του κέντρου του, οι γωνίες αρχής και τέλους του τόξου, όπως και το είδος της γραμμής (πάχος, χρώμα, επίπεδο σχεδίασης).



Σχήμα 1.1: Εξισώσεις κύκλου

Η παραμετρική εξίσωση κύκλου ή τόξου σε επίπεδο xy, σε ύψος zc με κέντρο και ακτίνα τα θεωρούμενα είναι:

$$X = x_c + r \cdot \cos u$$

$$Y = y_c + r \cdot \sin u$$

$$Z = z_c$$

με πεδίο ορισμού της παραμέτρου: $0 \le u \le 2\pi$ για πλήρη κύκλο και $u_s \le u < u_e$ για τόξο κύκλου

Τα σημεία που βρίσκονται στην περιφέρεια του κύκλου μπορούν να υπολογιστούν και με αναδρομικό τύπο, όπου υπολογίζονται κατά προσέγγιση, με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών.

$$x_{n+1} = x_c + (x_n - x_c) \cdot \cos\Delta u - (y_n - y_c) \cdot \sin\Delta u$$

$$y_{n+1} = y_c + (y_n - y_c) \cdot \cos\Delta u - (x_n - x_c) \cdot \sin\Delta u$$

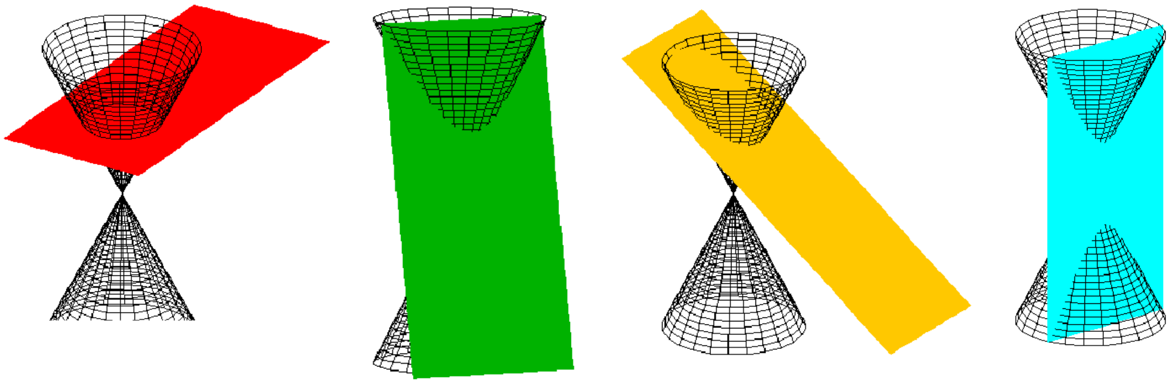
$$z_{n+1} = z_n$$

Με αυτόν τον τρόπο ο υπολογισμός γίνεται γρηγορότερα, συγκριτικά με την αντικατάσταση της τιμής u στις εξισώσεις του κύκλου.

1.4 Παραμετρική αναπαράσταση κωνικών τομών

Κωνικές τομές ονομάζονται καμπύλες δευτέρου βαθμού (κύκλος, έλλειψη, παραβολή κ.λπ.), όπως φαίνονται στο σχήμα 1.2, οι οποίες προκύπτουν από την τομή ενός κώνου με ένα επίπεδο, και η γενική πεπλεγμένη μορφή τους παρουσιάζεται με την εξίσωση:

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0$$



Σχήμα 1.2: Κωνικές τομές

Στο προαναφερόμενο πολυώνυμο αυτό περιέχονται έξι συντελεστές, αλλά με διαίρεση μη μηδενικού συντελεστή γίνονται πέντε. Κατά συνέπεια, απαιτούνται πέντε συνθήκες για να οριστεί μια γενική κωνική τομή. Απαιτούμενα δεδομένα σε κάθε ειδική περίπτωση κωνικών τομών:

2 δεδομένα → ευθύγραμμο τμήμα

3 δεδομένα → κύκλος, παραβολή

4 δεδομένα → έλλειψη, υπερβολή

Τα πέντε δεδομένα, μπορούν να είναι είτε σημεία τα οποία παρεμβάλλει η κωνική τομή, είτε συνδυασμός σημείων και διανυσμάτων εκκίνησης και τερματισμού της κωνικής τομής. Ειδική περίπτωση αποτελεί ο ορισμός του συντελεστή συσχέτισης του Spearman (Rho) όπου Rho = (απόσταση 4) / (απόσταση 5), με τιμές μεταξύ 0 και 1. Εάν Rho > 0,5 τότε δημιουργείται υπερβολή, εάν Rho = 0,5 τότε δημιουργείται παραβολή, και τέλος εάν Rho < 0,5 δημιουργείται έλλειψη.

Η διακρίνουσα της κωνικής, $B^2 – A \cdot C$ ορίζεται ακολούθως:

1. Εάν, $B^2 < A \cdot C$, τότε η γενική εξίσωση παριστάνει έλλειψη
2. Εάν, $B^2 = A \cdot C$, τότε η γενική εξίσωση παριστάνει παραβολή
3. Εάν, $B^2 > A \cdot C$, τότε η γενική εξίσωση παριστάνει υπερβολή

Ακόμη, οι κωνικές τομές γράφονται και σε μορφή πινάκων. Κάθε σημείο x = (x,y) γράφεται ως διάνυσμα τριών διαστάσεων, με τρίτη συντεταγμένη το 1 και με γενική μορφή:

$$X^TQx = 0$$

όπου: $X = \begin{matrix} x \\ y \\ 1 \end{matrix}$ $\quad X^T = [x, y, 1]$ $\quad Q = \begin{matrix} A & B & D \\ B & C & E \\ D & E & F \end{matrix}$

1.5 Παραμετρική αναπαράσταση έλλειψης

Έλλειψη ονομάζεται η κωνική τομή η οποία δημιουργείται όταν ένα επίπεδο τέμνει έναν κώνο πλάγια (υπό γωνία με τον άξονά του). Είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του επιπέδου, τα οποία έχουν σταθερό άθροισμα απόστασης, ίσο με τον κύριο άξονα της έλλειψης, από δύο σημεία που ονομάζονται πόλοι της έλλειψης. Ο κύκλος μπορεί να θεωρηθεί ειδική περίπτωση της έλλειψης, όπου το επίπεδο τέμνει τον κώνο κάθετα στον άξονά του. Κάθε πόλος βρίσκεται πάνω στον κύριο άξονα της έλλειψης και απέχει από το κέντρο $(A^2 - B^2)^{1/2}$, όπου A και B τα μήκη του κύριου και δευτερεύοντος άξονα της έλλειψης αντίστοιχα.

Η παραμετρική εξίσωση της έλλειψης στο επίπεδο xy, με κέντρο το σημείο (X_C , Y_C) με κύριο άξονα με μήκος A και διεύθυνση κατά τη διεύθυνση του X, και δευτερεύοντα άξονα με μήκος B και διεύθυνση κατά τη διεύθυνση του Y είναι:

$$X = x_c + A \cdot \cos u$$

$$Y = y_c + A \cdot \sin u$$

$$Z = z_c$$

με $0 \le u \le 2\pi$

Εάν ο κύριος άξονας σχηματίζει γωνία a ως προς τον άξονα x, η παραμετρική εξίσωση της έλλειψης είναι:

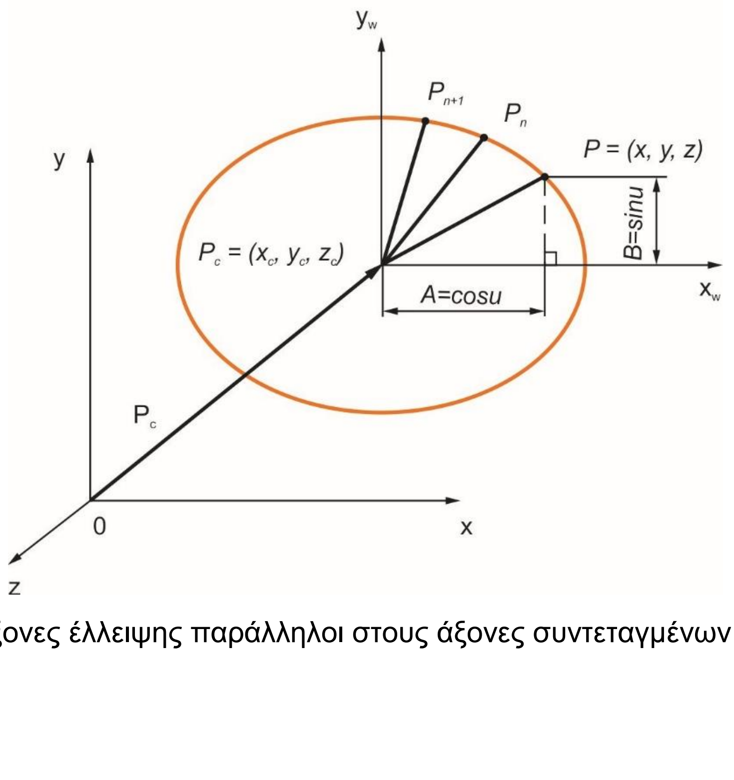
$$X = x_c + A \cdot \cos u \cdot \cos a - B \cdot \sin u \cdot \sin a$$

$$Y = y_c + A \cdot \cos u \cdot \sin a - B \cdot \sin u \cdot \cos a$$

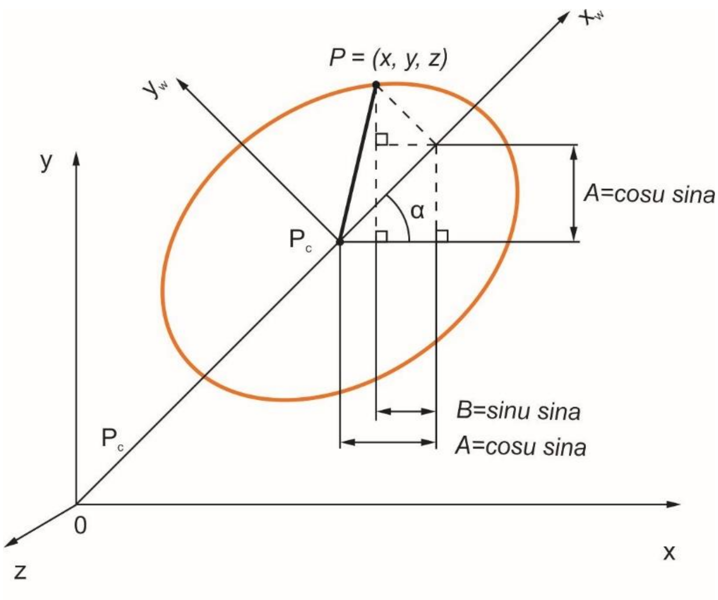
$$Z = z_c$$

με $0 \le u \le 2\pi$

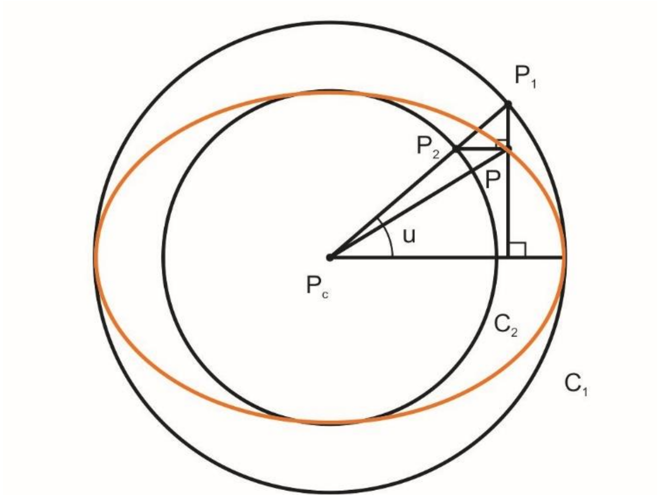
Για πλήρη έλλειψη, η παράμετρος u ορίζεται στο [0,2π], ενώ για τμήμα έλλειψης παίρνει μια αρχική και μια τελική τιμή. Η σχέση μεταξύ παραμέτρου ορισμού (u) και σημείου C(u) παρουσιάζεται σχηματικά παρακάτω.



Σχήμα 1.3: Άξονες έλλειψης παράλληλοι στους άξονες συντεταγμένων



Σχήμα 1.4: Άξονες έλλειψης υπό κλίση στους άξονες συντεταγμένων



Σχήμα 1.5: Παραμετρικός ορισμός της έλλειψης

Στο σχήμα 1.5 φαίνεται η ακτίνα η οποία αντιστοιχεί στην τιμή του u, να τέμνει τον εγγεγραμμένο και περιγεγραμμένο κύκλο στα σημεία P_2 και P_1 αντίστοιχα. Στη συνέχεια, φέρεται ευθεία παράλληλη προς τον άξονα X και ευθεία από το P_1 κάθετη προς τον άξονα X, με σημείο τομής το σημείο P, το οποίο βρίσκεται στην περιφέρεια της έλλειψης. Αντίστροφα, για τον υπολογισμό τιμής της παραμέτρου u για σημείο ευρισκόμενο στην περιφέρεια της έλλειψης, φέρεται κάθετος προς τον κύριο άξονα της έλλειψης.

Για τον επιτυχή ορισμό μιας έλλειψης, απαιτούνται τέσσερα δεδομένα, είτε σημεία, είτε εφαπτόμενες. Στη βάση δεδομένων καταχωρείται το επίπεδο σχεδίασης της έλλειψης, καθώς και οι συντεταγμένες του κέντρου της, οι γωνίες αρχής και τέλους ελλειπτικού τόξου κ.α.

Αντίστοιχα με τον κύκλο, χρησιμοποιούνται αναδρομικοί τύποι με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών για τον κατά προσέγγιση υπολογισμό σημείων στην περιφέρεια.

$x_{n+1} = x_c + (x_n – x_c) \cdot \cos\Delta u – \frac{A}{B}(y_n – y_c) \cdot \sin\Delta u$

$y_{n+1} = y_c + (y_n – y_c) \cdot \cos\Delta u – \frac{A}{B} (x_n – x_c) \cdot \sin\Delta u$

$z_{n+1} = z_n$

και για έλλειψη υπό γωνία α, οι παραπάνω τύποι γίνονται:

$x_{n+1} = x_c + A \cdot \cos(u_n + \Delta u) \cdot \cos a – B \cdot \sin(u_n + \Delta u) \cdot \sin a$

$y_{n+1} = y_c + A \cdot \cos(u_n + \Delta u) \cdot \sin a + B \cdot \sin(u_n + \Delta u) \cdot \cos a$

$z_{n+1} = z_n$

όπου $u_n = (n – 1) \cdot u$

1.6 Παραμετρική αναπαράσταση παραβολής

Παραβολή ονομάζεται ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που ισαπέχουν από μια δεδομένη ευθεία του επιπέδου και από σημείο P_F εκτός αυτής. Η ευθεία ονομάζεται διευθετούσα, και το σημείο εστία της παραβολής και είναι και τα δύο σταθερά και δεν μεταβάλλονται. Η παραβολή είναι συμμετρική ως προς τον άξονάς της, ο οποίος είναι κάθετος στη διευθετούσα ευθεία και διέρχεται από την εστία. Το μέσο (P_u) της απόστασης της εστίας από τη διευθετούσα, είναι σημείο της παραβολής και ονομάζεται κορυφή της. Η απόσταση μεταξύ εστίας και διευθετούσας υπολογίζεται 2A και για τον ορισμό της παραβολής απαιτείται ο ορισμός του επιπέδου σχεδίασης και τρία ακόμη δεδομένα.

Η γενική εξίσωση παραβολής με γωνία κλίσης a ως προς τον άξονα χ και με συντεταγμένες ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων της παραβολής, X_w, Y_w, είναι:

$x = x_u + A \cdot u^2 \cdot \cos a – 2 \cdot A \cdot u \cdot \sin a$

$y = y_u + A \cdot u^2 \cdot \cos a + 2 \cdot A \cdot u \cdot \cos a$

$z = z_u$

με $u_h = y_{lw} / 2a \le u < u_l = y_{hw} / 2a$

όπου y_{lw} η τιμή στα άκρα της παραβολής που ορίζεται για u_h και y_{hw} η τιμή στα άκρα της παραβολής που ορίζεται για u_l

Στη βάση δεδομένων καταχωρείται το επίπεδο σχεδίασης της παραβολής, οι συντεταγμένες της κορυφής της παραβολής $C_u(x_u, y_u)$, οι αποστάσεις των άκρων, καθώς και η εστιακή απόσταση (A) και η γωνία διεύθυνσης (a). Αντίστοιχα με παραπάνω, οι τύποι κατά προσέγγισης υπολογισμού σημείων στην περιφέρεια με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, για τη γενική περίπτωση της παραβολής είναι:

$X_{n+1} = x_n \cdot \cos a + (1 – \cos a) \cdot x_u + (\Delta u \cdot \cos a – \sin a) \cdot (y_n – y_u) + A \cdot \Delta u \cdot (\Delta u \cdot \cos a – 2 \cdot \sin a)$

$Y_{n+1} = y_n \cdot (\cos a + \Delta u \cdot \sin a) + (1 – \cos a – \Delta u \cdot \sin a) \cdot y_n + (x_n - x_u) \cdot \sin a + A \cdot \Delta u \cdot (\Delta u \cdot \sin a + 2 \cdot \cos a)$

$Z_{n+1} = z_n$

1.7 Παραμετρική αναπαράσταση υπερβολής

Υπερβολή ονομάζεται ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του επιπέδου, η διαφορά της απόστασης των οποίων από τις εστίες (καθορισμένα σημεία F και F’) είναι σταθερή και μικρότερη της απόστασης μεταξύ των δύο εστιών (εστιακή απόσταση).

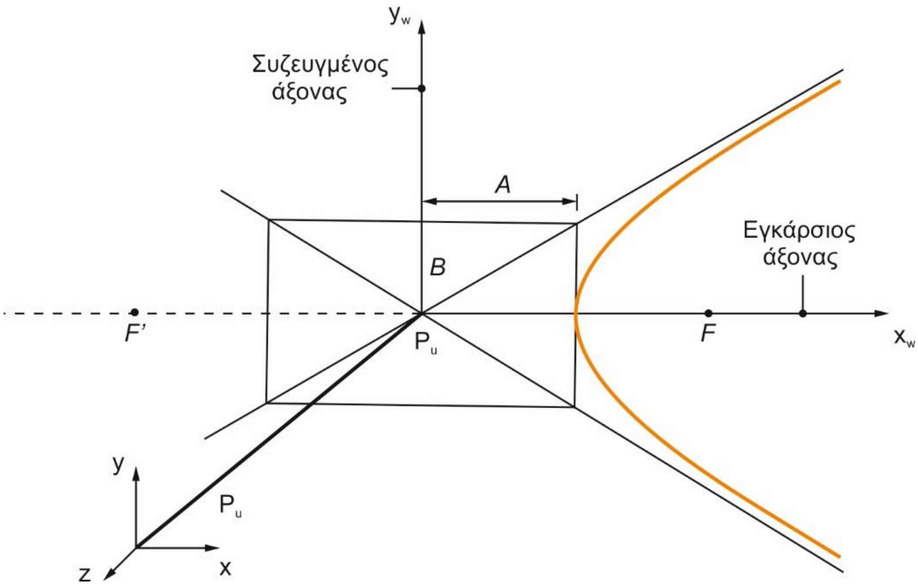
Η διαφορά της εστιακής απόστασης (FF’) είναι ίση με την απόστασή τους από τον εγκάρσιο άξονα. Ακολουθεί η παραμετρική εξίσωση της υπερβολής:

$$X = x_u + A \cdot \cosh \cdot u$$

$$Y = y_u + B \cdot \sinh \cdot u$$

$$Z = z_u$$

Με τη σημασία των παραμέτρων να παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 1.6: Παραμετρικός ορισμός υπερβολής

1.8 Παραμετρική αναπαράσταση καμπυλών ελεύθερης μορφής

1.8.1 Μέθοδοι σχεδίασης των καμπυλών ελεύθερης μορφής

Για τη σχεδίαση καμπυλών σε ένα σύστημα CAD, γίνεται χωρισμός της καμπύλης σε μια σειρά από επιμέρους τμήματα (segments) με ανεξάρτητο σχεδιασμό του κάθε τμήματος, κι ύστερα τη μεταξύ τους ένωση από την οποία προκύπτουν σύνθετες καμπύλες.

Η προσέγγιση στη σχεδίαση καμπυλών κι επιφανειών, έγινε πρώτη φορά το 1960 με μη αναλυτική περιγραφή από τον Ferguson στην Boeing. Αντίθετα από την πεπλεγμένη αναπαράσταση που χρησιμοποιούταν μέχρι τότε, ο Ferguson εισήγαγε την έννοια της παραμέτρου ορισμού της καμπύλης, καθώς και την παραμετρική αναπαράσταση των καμπυλών. Χρησιμοποίησε καμπύλες 3^{ου} βαθμού , καθώς και τα κυβικά πολυωνυμικά τμήματα Ferguson, τα οποία προσδιορίζονται από τα διανύσματα θέσης και τα διανύσματα που εφάπτονται στα άκρα του τμήματος, με χρήση της Hermite παρεμβολής. Κατά συνέπεια, τα τμήματα Ferguson δημιουργούν τμήματα μεταξύ δύο σημείων και παράλληλα αναπτύχθηκε μεθοδολογία για την ομαλή σύνδεση σειράς σημείων με τμήματα 3^{ου} βαθμού. Επιπλέον, για την περιγραφή επιφανειών ελεύθερης μορφής, δημιούργησε το σύστημα FMILL, και στη συνέχεια τη δημιουργία του προγράμματος οδήγησης εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου (NC) για την κατεργασία του. Για τον ορισμό των τετράπλευρων τμημάτων των επιφανειών γινόταν χρήση των τεσσάρων ακραίων σημείων του τετραπλεύρου και των οκτώ διανυσμάτων που εφάπτονταν (δύο ανά κατεύθυνση) στα σημεία αυτά. Το αποτέλεσμα της μεθόδου αυτής, είναι επίπεδες περιοχές στα ακραία σημεία, και ιδιαιτέρως στα μεγάλου μεγέθους επιφανειακά τμήματα. Ο Ferguson ήταν αυτός που πρώτος έκανε επίδειξη των δυνατοτήτων της παραμετρικής αναπαράστασης έναντι της αναλυτικής. Στη συνέχεια όμως, η παραμετρική αναπαράσταση αποτέλεσε την αποκλειστική μέθοδο περιγραφής καμπυλών και επιφανειών για τη σχεδιομελέτη με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Το 1964 εισήχθη μια μέθοδος περιγραφής τετράπλευρων επιφανειακών τμημάτων από τον Coons στο MIT, προσδιορίζοντας είτε τα τέσσερα ακραία σημεία, είτε τις τέσσερις οριακές καμπύλες που το περιβάλλουν. Αργότερα, το 1967, έδωσε μια γενικευμένη περιγραφή της μεθόδου του, προσθέτοντας και τον προσδιορισμό των διανυσμάτων κατεύθυνσης, κατά μήκος των οριακών καμπυλών. Η μέθοδος αυτή, παρουσιάζει κοινά με τη μέθοδο Ferguson, και σε ειδικές συνθήκες περιλαμβάνει και τη μέθοδο FMILL. Ο Coons έδωσε εξήγηση στα επίπεδα τμήματα που παρουσιάζει η μέθοδος Ferguson στα άκρα των επιφανειών, τα οποία οφείλονται στην παραδοχή ότι στα άκρα, τα διανύσματα στρέψεις (twist vectors) παίρνουν την τιμή μηδέν. Επιπλέον, ανέλυσε τις συνθήκες συνέχειας που πρέπει να ικανοποιούνται για τη σύνδεση δύο επιφανειακών τμημάτων μεταξύ τους, κι επίσης παρουσίασε μια μέθοδο σύνδεσης δύο τμημάτων κατά μήκος ενός κοινού ορίου με συνέχεια σε παραγώγους βαθμού –n.

Όμως, και οι δύο παραπάνω μέθοδοι παρουσιάζουν τα εξής μειονεκτήματα:

- Υπάρχει δυσκολία στον άμεσο έλεγχο της μορφής της καμπύλης, συνεπώς και της επιφάνειας.
- Κατά τη διαδικασία της ένωσης διαδοχικών τμημάτων, η συνέχεια της τελικής καμπύλης στο σημείο επαφής τους, εξαρτάται και από τα διαδοχικά τμήματα, αλλά και από όλη την καμπύλη, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να γίνει προσδιορισμός των απαραίτητων συνθηκών για την ύπαρξη πάντα μιας ομαλής καμπύλης.

Η έννοια του χαρακτηριστικού πολυγώνου, ή αλλιώς πολυγώνου ελέγχου, εισήχθη από τον Bezier στη Renault, μαζί με μια μέθοδο περιγραφής καμπύλης, με χρήση των πολυωνύμων Bernstein ως συναρτήσεις μείξης. Με βάση αυτήν την αρχή δημιουργήθηκε το σύστημα UNISURF. Με την καμπύλη Bezier, ομαλοποιούνται οι γωνίες του πολυγώνου ελέγχου και αποτελεί τη βέλτιστη προσέγγιση ενός πολυγώνου από μια καμπύλη. Με τη μέθοδο αυτή, παρέχεται ευκολία στον έλεγχο της μορφής της καμπύλης μέσω των σημείων της. Ακόμη, η μορφή της είναι εύκολα κατανοητή από τα σημεία ελέγχου, και η καμπύλη μπορεί με ευκολία να διαιρεθεί σε επιμέρους τμήματα που χειρίζονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Επιπρόσθετα, ο βαθμός της καμπύλης μπορεί, χωρίς να αλλάξει μορφή, να αυξηθεί, παρουσιάζοντας όμως ορισμένα προβλήματα. Παραδείγματος χάριν, τη διασφάλιση της συνέχειας σύνδεσης των διαφόρων τμημάτων μεταξύ τους, τη δημιουργία πολυωνυμικών καμπυλών μεγάλου βαθμού για πολλά σημεία ελέγχου, με αποτέλεσμα το τελικό μοντέλο να αποτελείται από πολλά επιμέρους τμήματα καμπυλών κι επιφανειών, με αντίστοιχη δυσκολία, τη διατήρηση συνέχειας υψηλής τάσης μεταξύ είτε δύο καμπυλών, είτε επιφανειών, όταν επέρχεται αλλαγή στη μορφή τους. Για μεγάλο διάστημα, αποτελούσε τη βασική μορφή αναπαράστασης καμπυλών κι επιφανειών ελεύθερης μορφής σε πολλά συστήματα σχεδιομελέτης με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, και χρησιμοποιείται ακόμη σε μεγάλο βαθμό.

Η χρήση των Splines, έφερε τη λύση στο πρόβλημα της σύνδεσης και της διατήρησης της ομαλής σύνδεσης. Σύμφωνα με τη μέθοδο, κάθε μέρος / τμήμα της καμπύλης περιγράφεται με διαφορετικές συναρτήσεις ανάμεσα σε διαδοχικά σημεία.

Οι B-Splines δημιουργήθηκαν από τους Gordon και Riesenfeld, με χρήση των συναρτήσεων Basis ως συναρτήσεις μείξης της καμπύλης. Για τον ορισμό τους χρησιμοποιείται το χαρακτηριστικό πολύγωνο, ενώ έχουν ιδιότητες ανάλογες των καμπύλων Bezier, με επιπρόσθετη τη δυνατότητα τοπικού ελέγχου της καμπύλης. Στις καμπύλες B-Splines γίνεται εισαγωγή της έννοιας του διανύσματος των κόμβων (knot vector), η οποία καθορίζει τον αριθμό των τμημάτων που αποτελούν την καμπύλη. Μια B-Spline αποτελείται από περισσότερα από ένα τμήματα, αντίθετα με τις καμπύλες Bezier (ένα τμήμα). Στις B-Splines κάποια από τα σημεία ελέγχου επηρεάζουν καθένα από τα τμήματα από τα οποία αποτελείται, αντιθέτως στον ορισμό των καμπυλών Bezier, εισέρχονται όλα τα σημεία ελέγχου.

Όλες οι προαναφερθείσες μέθοδοι κάνουν χρήση πολυωνυμικών συναρτήσεων για την αναπαράσταση της μορφής, και δεν μπορούν να περιγράψουν με απλά πολυώνυμα και με ακρίβεια κωνικές τομές εκτός της παραβολής (κύκλους, ελλείψεις κ.α.). Για την ακριβή αναπαράσταση των κωνικών τομών, γίνεται χρήση ρητών (rational) πολυωνύμων ως προς τουλάχιστον τη μια συντεταγμένη. Οι καμπύλες και οι επιφάνειες οι οποίες έχουν παραχθεί με τα ρητά πολυώνυμα καλούνται Rational B-Splines (NUBS) και σε συνδυασμό με ανομοιόμορφη κατανομή του διαστήματος κόμβων, ορίζονται οι καμπύλες NURBS (Non Uniform Rational B-Splines), οι οποίες αποτελούν τη σύγχρονη μορφή των γεωμετρικών στοιχείων στα συστήματα σχεδίασης. Ακολουθεί σχηματική περιγραφή των παραπάνω μεθόδων:

Σχήμα 1.7: Σχηματική αναπαράσταση εξέλιξης μεθόδων περιγραφής καμπυλών και επιφανειών

1.8.2 Πολυωνυμικά τμήματα

Η πλειοψηφία των προαναφερθέντων τμημάτων καμπυλών, είναι πολυωνυμικού τύπου. Στη γενική του μορφή, ένα πολυωνυμικό τμήμα καμπύλης περιγράφεται από μια εξίσωση, η οποία ορίζεται από το άθροισμα των γινομένων των βασικών, είτε πολυωνυμικών είτε μείξης, συναρτήσεων της παραμέτρου u ορισμού της καμπύλης με τους αντίστοιχους διανυσματικούς ή πολυωνυμικούς συντελεστές.

Διανυσματικοί συντελεστές ονομάζονται τα γεωμετρικά στοιχεία, τα οποία χρησιμοποιεί το κάθε σχήμα καμπυλών που προαναφέρθηκε. Για παράδειγμα τα σημεία ελέγχου και τα εφαπτόμενα διανύσματα. Οι βασικές συναρτήσεις υπολογίζονται αυτόματα για κάθε σχήμα ορισμού καμπυλών και προσδιορίζουν το ποσοστό επηρεασμού του κάθε σημείου της καμπύλης από κάθε διανυσματικό συντελεστή. Τα τμήματα αυτά αποκαλούνται πολυωνυμικά, κι ένα κυβικό πολυωνυμικό τμήμα που αποτελεί την πιο συνήθη μορφή τμήματος, ορίζεται από βασικές συναρτήσεις τρίτου βαθμού ως προς την παράμετρο ορισμού, κι ακόμη απαιτούνται τέσσερις βασικές συναρτήσεις και διανυσματικού συντελεστές για τον ορισμό του.

Τα κυβικά πολυωνυμικά τμήματα (Ferguson, Bezier, B-Splines) έχουν όλα την ίδια γενική μορφή:

$$r = C(u) = a_0 + u\, a_1 + u^2\, a_2 + u^3\, a_3$$

όπου:

r το διάνυσμα θέσης ενός σημείου στην καμπύλη

C(u) οι συντεταγμένες του σημείου στην καμπύλη

1, u, u^2, u^3 οι βασικές συναρτήσεις

a_0, a_1, a_2, a_3 οι διανυσματικοί συντελεστές

Η πιο συνήθης αναπαράσταση, είναι η **κυβική**, καθώς μπορεί να εξασφαλίσει συνέχει δευτέρου βαθμού στο σημείο επαφής μεταξύ δύο τμημάτων, και να κάνει δύο διακριτά τμήματα να φαίνονται ως ενιαία ομαλή καμπύλη.

Η απλή αυτή μορφή διαφοροποιείται εύκολα και διαχειρίζεται αλγεβρικά, όμως δεν υπάρχει κάποια άμεση γεωμετρική σημασία στους διανυσματικούς συντελεστές. Προκαλώντας αλλαγή στις συναρτήσεις μείξης, μετατρέποντας τη μορφή τους από απλή σε σύνθετη, το αποτέλεσμα είναι διάφορα είδη καμπυλών που προαναφέρθηκαν, και αντίστοιχα αλλάζει η ερμηνεία των διανυσματικών συντελεστών.

1.9 Παραμετρική αναπαράσταση καμπυλών Ferguson

Οι καμπύλες αυτές, εφαρμόστηκαν πρώτη φορά για τη σχεδίαση τμημάτων επιφανειών αεροσκαφών το 1960 από τον Ferguson.

Στην εξίσωση:

$$r = C(u) = a_0 + u\, a_1 + u^2\, a_2 + u^3\, a_3$$

οι βασικές συναρτήσεις 1, u, u^2, u^3 αντικαθίστανται από πιο πολύπλοκες (συναρτήσεις μείξης Hermite τρίτου βαθμού)

Έτσι,

- το 1 αντικαθίσταται με ($1 - 3u^2 + 2u^3$)

- το u αντικαθίσταται με ($3u^2 - 2u^3$)
- το u^2 αντικαθίσταται με ($u - 2u^2 + 3u^3$)
- και το u^3 αντικαθίσταται με ($-u^2 + u^3$)

Με την αντικατάσταση, αποδεικνύεται ότι οι διανυσματικοί συντελεστές είναι τα διανύσματα θέσης στα άκρα της καμπύλης, δηλαδή:

$$a_0 = P_0 = C(0) \quad \text{και} \quad a_1 = P_1 = C(1)$$

Αντίστοιχα, οι τιμές της πρώτης παραγώγου στα αντίστοιχα σημεία θα είναι:

$$a_2 = P'_0 = C'(0) \quad \text{και} \quad a_3 = P'_1 = C'(1)$$

Κατά συνέπεια, η μορφή της εξίσωσης θα είναι:

$$r = C(u) = (1 - 3u^2 + 2u^3)\ P_0 + (3u^2 - 2u^3)\ P_1 + (u - 2u^2 + 3u^3)\ P'_0 + (- u^2 + u^3) P'_1$$

Ακολουθεί η εξίσωση κατά Ferguson σε μορφή πινάκων:

$$\boldsymbol{C}(u) = UMA = \begin{bmatrix} 1 & u & u^2 & u^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P'_0 \\ P'_1 \end{bmatrix}$$

όπου:

A ο πίνακας διανυσματικών συντελεστών

U ο πίνακας των απλών βασικών συναρτήσεων

M ο χαρακτηριστικός πίνακας που αντιστοιχεί στην καμπύλη Ferguson

Η καμπύλη Ferguson ξεκινά από το σημείο P_0 και εφαπτόμενη στο διάνυσμα P'_0, και καταλήγει στο σημείο P_1 κι εφαπτόμενη στο διάνυσμα P'_1. Σε κάθε σημείο της καμπύλης, το εφαπτόμενο διάνυσμα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

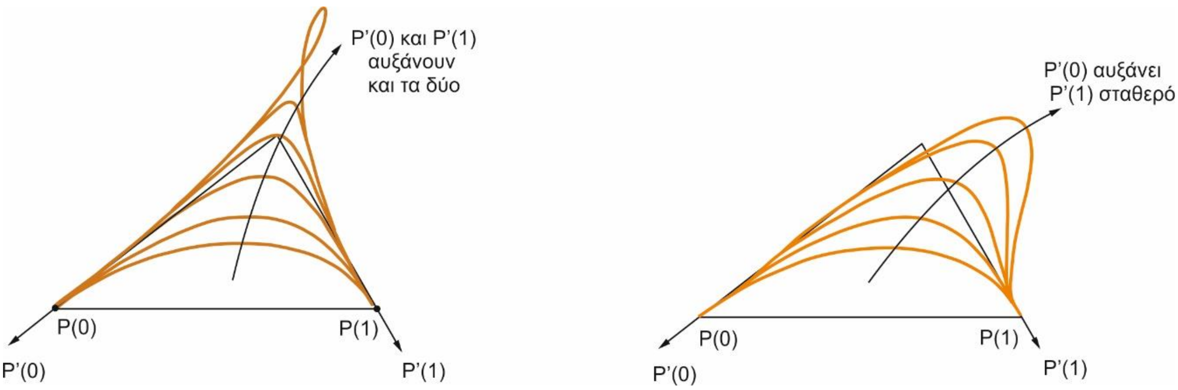
$$C'(u) = (6u^2 - 6u)\ P_0 + (-6u^2 + 6u)\ P_1 + (3u^2 - 4u + 1)\ P'_0 + (3u^2 - 2u)\ P'_1$$

Η μορφή της μεταβάλλεται με ευκολία, με τη μεταβολή ενός ή περισσότερων από τους διανυσματικούς συντελεστές (P_0 , P_1 , P'_0 , P'_1).

1.9.1 Μεταβολή καμπύλης Ferguson:

1. Με την αλλαγή θέσης των ακραίων σημείων P_0 και P_1 , η καμπύλη θα διέρχεται από τα νέα ακραία σημεία.
2. Με την αλλαγή της διεύθυνσης των εφαπτόμενων διανυσμάτων στα άκρα, θα προκύψει αλλαγή της μορφής της καμπύλης, ώστε να παραμείνει εφαπτόμενη αυτών στα άκρα.
3. Με την αλλαγή του μεγέθους του εφαπτόμενου διανύσματος στα άκρα, μεταβάλλεται και η μορφή της καμπύλης.

Ο τρόπος μεταβολής αναλόγως των τιμών των εφαπτόμενων διανυσμάτων φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 1.8: Μεταβολή καμπυλών Ferguson με το μέγεθος των εφ. διανυσμάτων

Στο παραπάνω σχήμα, παρουσιάζεται η μεταβολή της καμπύλης Ferguson με το μέγεθος των εφαπτόμενων διανυσμάτων. Πιο συγκεκριμένα , η κατεύθυνση των εφ. διανυσμάτων παραμένει σταθερή, ενώ το μέγεθός τους μεταβάλλεται.

1η περίπτωση:

Σε αυτήν την περίπτωση παραμένει σταθερός ο λόγος του μεγέθους των δύο διανυσμάτων. Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση του μεγέθους των διανυσμάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απομάκρυνση της καμπύλης από τη χορδή P_0P_1.

2η περίπτωση:

Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει αύξηση του πρώτου εφαπτόμενου διανύσματος P'_0, ενώ το δεύτερο διάνυσμα παραμένει σταθερό. Η καμπύλη φαίνεται αρχικά να τείνει να απομακρυνθεί από τη χορδή P_0P_1 , ενώ στο τέλος παρατηρείται να τείνει να παραμείνει στη χορδή. Ως αποτέλεσμα είναι να κλίνει προς το δεύτερο άκρο.

1.9.2 Παρεμβολή Ferguson σε σημεία

Μια χρήση των καμπυλών Ferguson είναι για την παρεμβολή καμπύλης σε σειρά σημείων. Από τα πιο απλά και συνήθη προβλήματα παρεμβολής αποτελεί όταν έχει ως δεδομένα μια σειρά από n σημεία P_0, P_1, P_2, …, P_{n-1}, καθώς και τα ακραία εφαπτόμενα διανύσματα P'_0 και P'_{n-1} της καμπύλης στα δύο ακραία σημεία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, προσαρμόζεται μια καμπύλη Ferguson μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων P_k και P_{k+1}. Για τον ορισμό της καμπύλης, πρέπει να βρεθούν τα εφαπτόμενα διανύσματα, στα δύο δεδομένα ακραία σημεία. Κατά συνέπεια, εφόσον τα P_0 και P_{n-1} είναι γνωστά, πρέπει να υπολογιστούν τα εφαπτόμενα διανύσματα σε όλα τα ενδιάμεσα σημεία P_1 έως P_{n-2}.

Στα ενδιάμεσα αυτά σημεία, P_1 έως P_{n-2}, επιβάλλεται C^2 – συνέχεια εκτός από την υφιστάμενη συνέχεια κλίσης, έχοντας ως δεδομένο ότι σε όλα τα ενδιάμεσα σημεία, το εφαπτόμενο διάνυσμα είναι κοινό. Κατά συνέπεια, για τα δύο πρώτα τμήματα της καμπύλης, $C_1(u_1)$ και C_2 (u_2), μεταξύ των P_0P_1 και P_1P_2, πρέπει η δεύτερη παράγωγος στο τέλος του πρώτου τμήματος της καμπύλης, $(u_1=1)$, να ισούται με αυτή στην αρχή του δεύτερου τμήματος της, $(u_2=0)$. Δηλαδή:

$$C_1''(u_1=1) = C_2''(u_2=0)$$

Αντικαθιστώντας, προκύπτει η σχέση:

$$P'_1 = - \frac{1}{4}(3 P_0 + P'_0 – 3P_2 + P'_2)$$

η οποία δίνει το εφαπτόμενο διάνυσμα του ενδιάμεσου σημείου. Εάν η παρεμβολή ήταν μεταξύ μόνο τριών σημείων (P_0, P_1, P_2), τότε το εφαπτόμενο διάνυσμα του μεσαίου σημείου εκφράζεται σε συνάρτηση με τα γνωστά μεγέθη στα ακραία σημεία P_0 και P_2. Κατά συνέπεια μπορεί να υπολογιστεί το ενδιάμεσο εφαπτόμενο διάνυσμα, άρα και τα δύο τμήματα της καμπύλης.

Για τα τμήματα που πρέπει να υπολογιστούν (n-1), δημιουργούνται n-2 εξισώσεις όπως παραπάνω, για τους n-2 αγνώστους για τις τιμές των παραγώγων στα ενδιάμεσα σημεία. Λύνοντας το σύστημα, υπολογίζονται τα εφαπτόμενα διανύσματα, τα οποία μαζί με τις δύο παραγώγους στα δύο ακραία σημεία, μπορούν να ορίσουν όλα τα τμήματα της καμπύλης. Έτσι, το πεδίο ορισμού της καμπύλης τώρα είναι [0, n-1).

Δημιουργείται έτσι μια καμπύλη, ονομαζόμενη ομοιόμορφη παραμετρική κυβική καμπύλη Spline, λόγω του γεγονότος ότι οι ενώσεις των τμημάτων γίνονται σε ακέραιες τιμές της παραμέτρου u. Αποτελεί εύκολη, καθώς και αυτόματη μέθοδο προσαρμογής ομαλής καμπύλης σε ομοιόμορφα κατανεμημένο σύνολο σημείων, σε σημεία δηλαδή, τα οποία είναι κατανεμημένα σε ίσες περίπου αποστάσεις μεταξύ τους.

Με τη μέθοδο αυτή, η αλλαγή ενός σημείου ή ενός εκ των ακραίων διανυσμάτων, φέρει αλλαγές σε ολόκληρη την καμπύλη, σε όλα δηλαδή τα τμήματα τα οποία έχουν οριστεί.

1.10 Καμπύλες Hermite

Τα τμήματα Hermite, δίδονται ως αποτέλεσμα της γενίκευσης της μεθόδου δημιουργίας καμπυλών Ferguson. Η εφαρμογή τους γίνεται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες τα δεδομένα, ή περιορισμοί, είναι περισσότερα για τα ακραία σημεία. Δύο σημεία με γνωστά διανύσματα θέσης και παραγώγους μέχρι βαθμού k ορίζουν πολυωνυμική καμπύλη βαθμού (2k + 1), η οποία περνάει από τα σημεία αυτά. Η καμπύλη αυτή ονομάζεται καμπύλη παρεμβολής Hermite. Η καμπύλη Ferguson είναι μια τρίτου βαθμού καμπύλη Hermite.

Για την περίπτωση όπου k=0 δημιουργείται ευθύγραμμο τμήμα, το οποίο ενώνει τα δύο σημεία, $C(u) = (1 - u) P_0 + uP_1$

Για την περίπτωση όπου k=1, (εφ. διανύσματα στα ακραία σημεία) δημιουργείται η καμπύλη Ferguson.

Η καμπύλη Hermite πέμπτου βαθμού προσδιορίζεται από τα διανύσματα θέσης P_0 και P_1, τα εφαπτόμενα διανύσματα P'_0 και P'_1 και τα εφαπτόμενα διανύσματα δευτέρου βαθμού P''_0 και P''_1 (σχήμα 8.26) και δίνεται από τη σχέση:

$$C(u) = [H_{0,0}(u)H_{0,1}(u)H_{1,0}(u)H_{1,1}(u)H_{2,0}(u)H_{2,1}(u)] \cdot [P_0\ P_1\ P'_0\ P'_1\ P''_0\ P''_1]^T$$

όπου:

$$H_{0,0}(u) = -6u^5 + 15u^4 – 10u^3 +1$$

$$H_{0,1}(u) = 6u^5 - 15u^4 + 10u^3$$

$$H_{1,0}(u) = -3u^5 + 8u^4 – 6u^3 + u$$

$H_{1,1}(u) = -3u^5 + 7u^4 – 4u^3$

$H_{2,0}(u) = -\frac{1}{2}u^5 + \frac{3}{2}u^4 – \frac{3}{2}u^3 + \frac{1}{2} u^2$

$H_{2,1}(u) = -\frac{1}{2}u^5 - u^4 + \frac{1}{2}u^3$

Οι καμπύλες αυτές είναι κατάλληλες για παρεμβολή σημείων, στα οποία εκτός από την κλίση, δεδομένη είναι και η ακτίνα καμπυλότητας, δηλαδή επιδιώκεται συνέχεια C_2 στα άκρα της καμπύλης.

1.11 Παραμετρική αναπαράσταση καμπυλών Bezier

Οι καμπύλες Bezier χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά το 1962 από τον Γάλλο μαθηματικό Bezier στη Renault, όπου δημιούργησε το σύστημα UNISURF και αποτέλεσαν στη συνέχεια βάση για πολλά συστήματα CAD. Είχαν αναπτυχθεί και από τον P. DeCasteljau το 1959 στη Citroen, όπου, δεν είχαν δημοσιευθεί (όπως οι καμπύλες Bezier) αλλά είχαν χρησιμοποιηθεί ως τμήμα του συστήματος CAD της Citroen. Ορίζονται από μια σειρά σημείων στο χώρο, τα οποία ονομάζονται σημεία ελέγχου και συνιστούν το πολύγωνο ελέγχου, ή το χαρακτηριστικό πολύγωνο μιας καμπύλης. Μόνο αυτά προσδιορίζουν τη μορφή της καμπύλης και αποτελούν μέθοδο προσέγγισής της, καθώς η καμπύλη διέρχεται από το πρώτο και το τελευταίο σημείο της σειράς, προσεγγίζοντας όλα τα ενδιάμεσα.

Για να οριστεί μια καμπύλη Bezier, γίνεται χρήση των συναρτήσεων Bernstein (ή πολυώνυμα Bernstein) ως συναρτήσεις μείξης των σημείων ελέγχου. Η γενική μορφή της καμπύλης Bezier n βαθμού είναι:

$$C(u) = \sum_{i=0}^{n} P_i \cdot B_{i,n}(u)$$

με $0 \leq u \leq 1$

όπου:

- $B_{i,n}$ τα πολυώνυμα Bernstein
- P_i (i=0, …, n) τα διανύσματα θέσης των n+1 σημείων ελέγχου της καμπύλης, τα οποία συνιστούν το χαρακτηριστικό πολυγώνου της καμπύλης

Εξίσωση για πολυώνυμα Bernstein:

$$B_{i,n} = D(n,i) \cdot u^i \cdot (1 - u)^{n-1}$$

με $0 \leq u \leq 1$

όπου ο δυωνυμικός συντελεστής:

$$D(n,i) = \frac{n!}{i!(n-1)!}$$

Τα πολυώνυμα Bernstein αποτελούν συναρτήσεις μείξης και προσδιορίζουν το πώς τα σημεία ελέγχου επηρεάζουν την καμπύλη ως προς τη μορφή της. Όσον αφορά τη μορφή των πολυωνύμων, με τη σειρά της εξαρτάται από την παράμετρο ορισμού της καμπύλης u, και η μορφή αυτή δείχνει πόσο συνεισφέρει το κάθε σημείο ελέγχου στον ορισμό της καμπύλης για κάθε τμήμα της παραμέτρου u.

Παράδειγμα:

Για n=1, πρώτου βαθμού, υπάρχουν δύο πολυώνυμα Bernstein, $B_{0,1}(u)$ =(1-u) και $B_{1,1}(u)$ = u , για τα αντίστοιχα σημεία ελέγχου P_0 και P_1 που απαιτούνται για τον ορισμό της καμπύλης (ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ των δύο αυτών σημείων).

Για n=2, δευτέρου βαθμού, υπάρχουν τρία πολυώνυμα Bernstein, $B_{0,2}(u) =(1-u)^2$, $B_{1,2}(u) = 2\cdot (1 - u) \cdot u$ και $B_{2,2}(u) = u^2$, για τα τρία αντίστοιχα σημεία ελέγχου P_0, P_1 και P_2 που απαιτούνται για τον ορισμό της καμπύλης (παραβολή) κ.ο.κ.

Παρατηρείται λοιπόν, ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός της καμπύλης Bezier , τόσο πιο δύσκολη είναι η πρόβλεψη της μορφής της, καθώς απομακρύνεται από τα σημεία ελέγχου.

Από τις κωνικές τομές, η παραβολή είναι η μόνη η οποία μπορεί να αποδοθεί ακριβώς με καμπύλη Bezier, ενώ οι υπόλοιπες είναι κατά προσέγγιση.

1.11.1 Ιδιότητες καμπυλών Bezier

Οι ιδιότητες των καμπυλών βασίζονται στις ιδιότητες των πολυωνύμων Bernstein. Καμπύλη n – βαθμού ορίζεται από n + 1 σημεία ελέγχου ($P_0 - P_n$) με ιδιότητες:

1. Η καμπύλη περνάει από τα ακραία σημεία ελέγχου, δηλαδή τα σημεία P_0 και P_n, ενώ προσεγγίζει τα υπόλοιπα ενδιάμεσα. Στα ακραία σημεία, οι μη μηδενικές συναρτήσεις είναι οι $B_{0,n}$ = 1 $B_{n,n}$ =1 για u=0 και u=1 αντίστοιχα. Ο υπολογισμός των σημείων της καμπύλης στα ακραία σημεία προκύπτει ως:

$$C(0) = P_0 \cdot B_{0,n} = P_1 \text{ και } C(1) = P_n \cdot B_{n,n} = P_n$$

2. Η καμπύλη εφάπτεται στα ακραία τμήματα του πολυγώνου ελέγχου με παράγωγο r που δίνεται από τις σχέσεις:

$$C^r(0) = \frac{n!}{(n-r)!}\sum_{i=0}^{r}(-1)^{r-i}C(r,i)P_i,$$

$$C^r(1) = \frac{n!}{(n-r)!}\sum_{i=0}^{r}(-1)^{i}C(r,i)P_{n-i}$$

   με πρώτη παράγωγο στα άκρα $C'(0) = n \cdot (P_1 \cdot P_0)$ και $C'(1) = n \cdot (P_n \cdot P_{n-1})$ και κατεύθυνση ίδια με το διάνυσμα $(P_1 - P_0)$ και $(P_n - P_{n-1})$.
3. Η μεταβολή της καμπύλης πραγματοποιείται με την αλλαγή της θέσης των σημείων ελέγχου, είτε με την πολλαπλότητα στα σημεία ελέγχου.
4. Κάθε σημείο ελέγχου επηρεάζει την καμπύλη περισσότερο για την τιμή της παραμέτρου ορισμού $u = \frac{i}{n}$.
5. Κλείνοντας το πολύγωνο ελέγχου δημιουργείται κλειστή καμπύλη Bezier.
6. Το άθροισμα όλων των συναρτήσεων $B_{i,n}(u)$ είναι ίσο με τη μονάδα για κάθε τιμή του u. Συνεπώς οι καμπύλες Bezier είναι αμετάβλητες στις εφαρμογές απλώς μετασχηματισμών όπως μετατόπισης, περιστροφής κ.λπ.
7. Στο κυρτό πολύγωνο το οποίο σχηματίζεται από τα σημεία ελέγχου της καμπύλης, μέσα περικλείεται ολόκληρη η καμπύλη και δημιουργείται περιβάλλοντας με ένα σύρμα τα σημεία ελέγχου.

8. Ο αριθμός των σημείων τομής μεταξύ ευθείας η επιπέδου για τρισδιάστατη καμπύλη και καμπύλης, είναι πάντα μικρότερος ή ίσος από τον αριθμό των σημείων τομής της ευθείας ή του επιπέδου, με το πολύγωνο ελέγχου. Σύμφωνα με αυτή την ιδιότητα, βρίσκεται το άνω όριο εύρεσης του αριθμού των σημείων τομής της ευθείας ή επιπέδου, με την καμπύλη Bezier (variation diminishing).

1.12 Παραμετρική αναπαράσταση καμπυλών B-Splines

Οι καμπύλες **B-Splines** αποτελούν γενίκευση των καμπυλών Bezier. Ορίζονται από μια σειρά σημείων ελέγχου (σημεία deBoor) και αποτελούνται από περισσότερα από ένα τμήματα, των οποίων ο αριθμός (s) , εξαρτάται από τον αριθμό των σημείων ελέγχου (n) και το βαθμό της καμπύλης (p) που επιλέγει ο χρήστης (s = n-p). Πεδίο τιμών της παραμέτρου ορισμού (u) είναι το [0,s) με συνέχεια μεταξύ των τμημάτων C_{p-1}.

Οι καμπύλες B-Spline παρουσιάζουν όλες τις ιδιότητες των καμπυλών Bezier, αλλά ταυτόχρονα παρουσιάζουν και πλεονεκτήματα σε σύγκριση με αυτές (π.χ. δυνατότητα τοπικού ελέγχου καμπύλης κ.α.)

1.12.1 Μεθοδολογία για τον υπολογισμό καμπύλης B-Splines

Η εξίσωση καμπύλης B-Spline p βαθμού, ορισμένη από n+1 σημεία ελέγχου P_i, $(0 \le i \le n)$ είναι η εξής:

$$C(u) = \sum_{i=0}^{n} P_i N_{i,p}(u)$$

όπου $0 \le u \le u_{max}$, $1 \le p \le n$

και $N_{i,p}(u)$ βασικές συναρτήσεις B-Splines. Στις βασικές συναρτήσεις ο πρώτος δείκτης αντιστοιχεί στο σημείο ελέγχου, για το οποίο υπολογίζεται η βασική συνάρτηση, και ο δεύτερος δείκτης αποτελεί το βαθμό της καμπύλης. Οι συναρτήσεις αυτές είναι ανεξάρτητες από τον αριθμό των σημείων ελέγχου (n), αλλά εξαρτώνται από το βαθμό της καμπύλης (p), ο οποίος είτε ορίζεται από το χρήστη, είτε ορίζεται εξ ορισμού από τι σύστημα, και συνήθως έχει την τιμή 3. Μια επιπλέον παράμετρος των αμπυλών είναι η τάκη της καμπύλης (k) για την οποία ισχύει ότι k = p + 1.

Για τον υπολογισμό των βασικών συναρτήσεων B-Spline χρησιμοποιείται η αναδρομική σχέση που παρουσιάζεται παρακάτω, η οποία καλείται και Cox-deBoor αναδρομική σχέση.

$$N_{i,p}(u) = (u - u_i)\frac{N_{i,p-1}(u)}{u_{i+p} - u_i} + (u_{i+p+1} - u)\frac{N_{i+1,p-1}(u)}{u_{i+p+1} - u_{i+1}}$$

Όπου

$$N_{i,0} = \begin{Bmatrix} 1, & u_i \le u \le u_{i+1} \\ 0, & εκτός \end{Bmatrix}$$

και u_1 οι κόμβοι, με αριθμό κόμβων m + 1 και από u_0 έως u_m ισχύει ότι:

(p + 1) + (n + 1) = m + 1 ή m = n + p + 1 (= n + k)

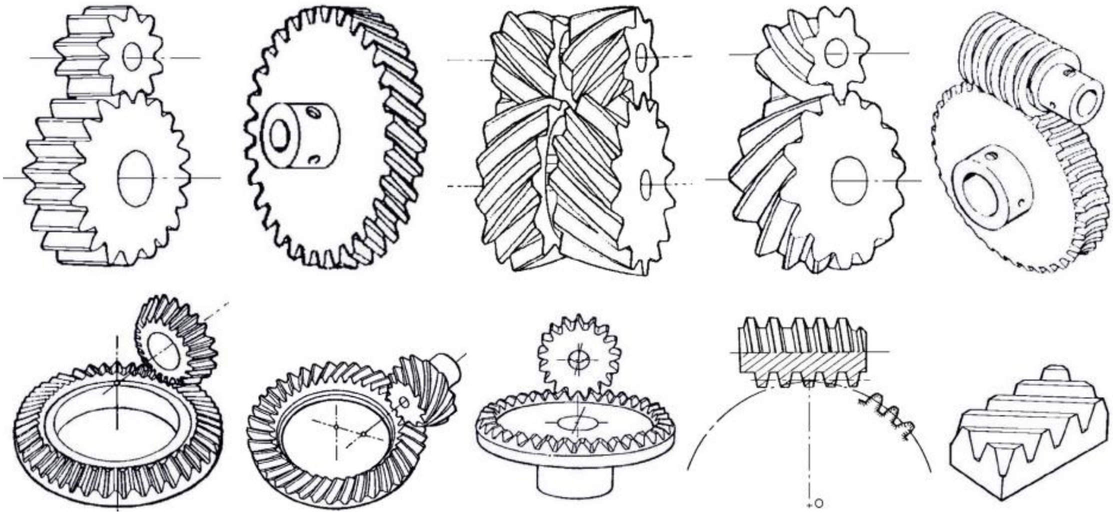
Για τον υπολογισμό της καμπύλης B-Spline ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Γίνεται ορισμός του βαθμού καμπύλης (p).
2. Γίνεται προσδιορισμός του αριθμού των κόμβων (m) και του διανύσματος των κόμβων.
3. Γίνεται υπολογισμός των n +1 βασικών συναρτήσεων B- Splines ($N_{i,p}$) ως συνάρτηση της παραμέτρου ορισμού (u).
4. Γίνεται υπολογισμός των σημείων στην καμπύλη από το άθροισμα του πολλαπλασιασμού κάθε βασικής συνάρτησης ($N_{i,p}$) με το σημείο ελέγχου (P_i) στο οποίο αντιστοιχεί.

3. ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ – ΟΔΗΓΗΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

3.1 Οδοντώσεις

Οι οδοντώσεις έχουν βρει χρήση εδώ και περίπου 2.300 χρόνια με ποικίλες μορφές. Οι πιο χαρακτηριστικές αναφορές / ευρήματα είναι η περιγραφή του γραναζιού από τον Αριστοτέλη, χρονολογούμενο από το 382 έως το 322 π.Χ., το ανυψωτικό μηχάνημα του Αρχιμήδη, χρονολογούμενο από 287 έως 212 π.Χ. (χρήση ατέρμονα κοχλία κορώνα), τα γρανάζια του Leonardo Da Vinci, ο μηχανισμός των Αντικυθήρων κ.α. Χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ισχύος ή κίνησης από τη μια άτρακτο σε μία άλλη, με την εμπλοκή των δοντιών του ενός οδοντωτού τροχού (κινητήριος τροχός) με έναν συνεργαζόμενο, και ανάλογα με τη μορφή που έχουν εξωτερικά, διακρίνονται σε οδοντωτούς τροχούς, σε κωνικούς οδοντωτούς τροχούς και σε ατέρμονες κοχλίες.



Σχήμα 3.1: Παραδείγματα οδοντωτών τροχών

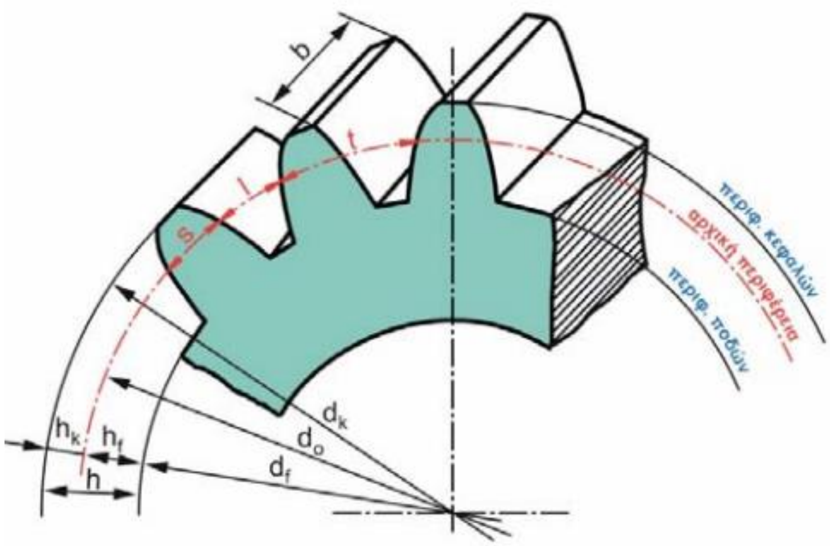
Για τη συνεργασία δύο οδοντωτών τροχών, και για την ύπαρξη συνέχειας στη μετάδοση της κίνησης, πρέπει τα δόντια του να έχουν ίδιο ύψος, πάχος, μορφή, καθώς και απόσταση μεταξύ τους. Δύο συνεργαζόμενοι οδοντωτοί τροχοί περιστρέφονται ως προς παράλληλους, τρεμνόμενους υπό γωνία, ή ασύμβατους άξονες.

3.1.1 Γεωμετρία των οδοντωτών τροχών

Τον απλούστερο γεωμετρικά οδοντωτό τροχό αποτελεί ο μετωπικός τροχός με ευθεία δόντια και κατά συνέπεια, τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται ως προς αυτόν τον τροχό και είναι τα ακόλουθα:

1. Η περιφέρεια κεφαλών, η περιφέρεια δηλαδή που διέρχεται από τις κεφαλές των δοντιών, και η διάμετρος κεφαλής, η διάμετρος (d_k) δηλαδή που της αντιστοιχεί
2. Η αρχική περιφέρεια, αυτή δηλαδή που περνάει από τη μέση των δοντιών, και η αντίστοιχη αρχική διάμετρος (d_0)
3. Η διάμετρος ποδιών, η οποία αντιστοιχεί στη βάση των δοντιών (d_f)
4. Η κεφαλή του δοντιού (ή ύψος κεφαλής), το τμήμα του ύψους (k) του δοντιού που βρίσκεται έξω από την αρχική περιφέρεια

5. Το πόδι του δοντιού, το υπόλοιπο τμήμα (f) δηλαδή του ύψους του δοντιού, το οποίο βρίσκεται μέσα στα όρια της αρχικής περιφέρειας
6. Το βήμα του δοντιού, η απόσταση (t) δηλαδή ανάμεσα σε δύο σημεία δύο γειτονικών δοντιών, όταν η απόσταση μετριέται πάνω στην αρχική περιφέρεια
7. Το πάχος δοντιού (s), το οποίο μετράται πάνω στην αρχική περιφέρεια
8. Το μήκος του δοντιού (b)
9. Το διάκενο του δοντιού (w), τη διαφορά δηλαδή του βήματος από το πάχος του δοντιού



Σχήμα 3.2: Χαρακτηριστικά οδοντώσεων

Η καμπύλη των παρειών ενός οδοντωτού τροχού αποτελεί μια εξελιγμένη καμπύλη, η οποία γράφεται από το άκρο ενός σχοινιού, το οποίο ξετυλίγεται από κύκλο ακτίνας.

3.1.2 Σχεδίαση οδοντωτού τροχού

Στο μηχανολογικό σχέδιο, ο οδοντωτός τροχός παρουσιάζεται σε πρόοψη ως ένα αντικείμενο χωρίς δόντια , αλλά με μια γραμμή αναφοράς, η οποία σχεδιάζεται είτε με γραμμή, είτε με περιφέρεια, αναλόγως τη θέαση του γραναζιού, η οποία με τη σειρά της αντιστοιχεί στη θέση του αρχικού κύκλου ή κύκλου κύλισης.

Για τη σχεδίαση ενός οδοντωτού τροχού ακολουθούνται οι ακόλουθες βασικές οδηγίες:

1. Οι τροχοί σχεδιάζονται είτε σε όψη, είτε σε τομή, είτε σε ημιτομή. Ως εξωτερικό περίγραμμα λαμβάνεται ο κύκλος κεφαλών, ο οποίος σχεδιάζεται με παχειά συνεχή γραμμή.
2. Η γραμμή ή περιφέρεια αναφοράς της οδόντωσης αναπαρίσταται με αξονική γραμμή.
3. Η περιφέρεια ποδός δε σχεδιάζεται, παρά μονο αναγκαστικά παριστάνεται στις τομές του οδοντωτού τροχού. Στην περίπτωση σχεδίασης τηε περιοχής του ποδιού ενός γραναζιού σε κάποια όψη, αυτό γίνεται με λεπτή συνεχή γραμμή.
4. Τα δόντια του οδοντωτού τροχού δε διαγραμματίζονται, και σχεδιάζονται στην τομή ολόκληρα.

3.1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά οδοντώσεων

Μέσω των οδοντωτών τροχών, μεταδίδεται περιστροφική κίνηση από άτρακτο η οποία ονομάζεται κινητήρια, σε άλλη άτρακτο η οποία ονομάζεται κινούμενη.

Σχέση μετάδοσης (i) ονομάζεται η σχέση ανάμεσα στις στροφές περιστροφής των δύο ατράκτων και ισούται με το κλάσμα $i = n_a / n_b$ όπου στον αριθμητή είναι οι αρχικές στροφές (n_a) της κινητήριας ατράκτου, και στον παρανομαστή τοποθετούνται οι τελικές στροφές (n_b) της κινούμενης ατράκτου.

Μέτρο οδόντωσης (modul / m) υπολογίζεται το πηλίκο της αρχικής διαμέτρου του οδοντωτού τροχού (d_o), προς τον αριθμό των δοντιών του (z), δηλαδή $m = d_o / z$. Αποτελεί γεωμετρικό μέγεθος και οι τιμές του είναι τυποποιημένες σε χιλιοστά (mm). Για τη συνεργασία δύο τροχών και τη μετάδοση κίνησης από τη μία άτρακτο στην άλλη, θα πρέπει οι τροχοί να έχουν το ίδιο βήμα, άρα κατά συνέπεια και το ίδιο μέτρο οδόντωσης.

3.1.4 Κατηγορίες οδοντωτών τροχών

Οι οδοντωτοί τροχοί, χωρίζονται σε κατηγορίες, ανάλογα με το κριτήριο ταξινόμησης. Με κριτήριο το βασικό σχήμα τους, διακρίνονται σε μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς, σε κωνικούς, καθώς και σε ατέρμονες κοχλίες κορώνες, όπως παρουσιάζονται και στη συνέχεια

Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί

Όσον αφορά τους μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς, έχουν μορφή κυλινδρική με δόντια τα οποία είναι τοποθετημένα στην εξωτερική τους περιφέρεια και αναλόγως της μορφής της οδοόντωσης διακρίνονται σε:

1. Μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς με ευθεία οδόντωση
2. Μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς με ελικοειδή ή λοξή οδόντωση
3. Μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς με διπλή λοξή ή τοξοειδή οδόντωση

Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί

Όσον αφορά τους κωνικούς οδοντωτούς τροχούς, έχουν κωνική μορφή με δόντα τα οποία είναι τοποθετημένα στην εξωτερική τους παράπλευρη επιφάνεια και η χρήση τους είναι για μεταφορά ισχύος μεταξύ των ατράκτων των οποίων οι άξονες τέμνονται. Οι άξονες αυτοί είναι πιο σύνηθες να παρουσιάζονται σε γωνία 90°, αλλά μπορούν να τέμνονται σε οποιαδήποτε γωνία. Αναλόγως της μορφής της οδόντωσής τους, οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί χωρίζονται σε:

1. Κωνικούς οδοντωτούς τροχούς με ευθεία οδόντωση
2. Κωνικούς οδοντωτούς τροχούς με ελικοειδή ή λοξή οδόντωση
3. Κωνικούς οδοντωτούς τροχούς με τοξοειδή οδόντωση
   Ειδική περίπτωση των κωνικών τροχών με τοξοειδή οδόντωση είναι οι υποειδείς τροχοί, των οποίων οι άξονες δεν τέμνονται αλλά είναι ασύμβατοι

Ατέρμονες κοχλίες κορώνες

Το σύστημα ατέρμονα κοχλία – οδοντωτού τροχού (κορώνας) αποτελείται από έναν ατέρμονα κοχλία, ο οποίος είναι κοχλίας κίνησης κατάλληλου σπειρώματος μιας ή περισσοτέρων αρχών, και συνεργάζεται με έναν οδοντωτό τροχό με τρόπο τέτοιο ώστε να μοιάζει με τον τρόπο εμπλοκής σε συνεργασία ενός κοχλία με το περικόχλιο του. Πιο σύνηθες σε αυτήν την οδοντοκίνηση είναι ο ατέρμονας κοχλίας να είναι ο κινητήριος τροχός, και τότε το σύστημα χρησιμοποιείται ως μειωτήρας στροφών. Στην αντίστροφη περίπτωση (κορώνα ως κινητήριος τροχός), το σύστημα χρησιμοποιείται για ανύψωση στροφών. Οι άξονες των συνεργαζόμενων τροχών είναι συνήθως κάθετοι μεταξύ τους, είναι όμως δυνατόν να σχηματίσουν και διαφορετική γωνία.

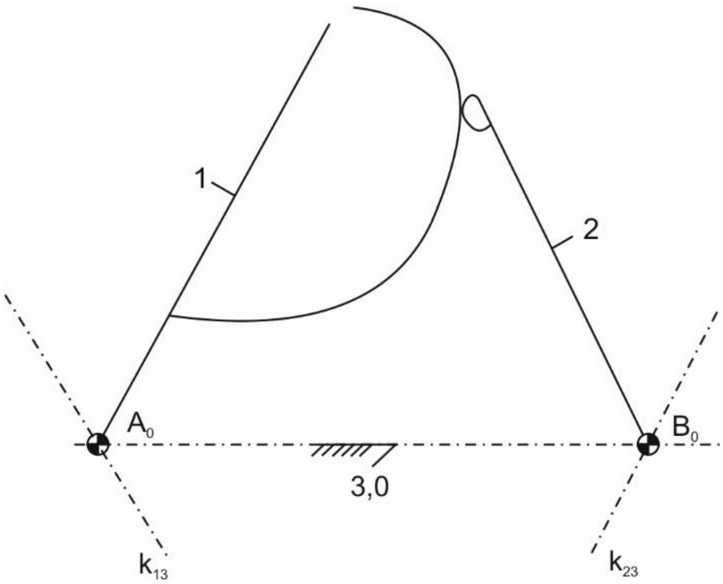
3.2 Μηχανισμοί με οδηγητικές καμπύλες

3.2.1 Γενικά

Οι μηχανισμοί με οδηγητικές καμπύλες αποτελούν μηχανολογικές διατάξεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για μετάδοση κίνησης, κυρίως μικρής ισχύος, με τυχούσες προδιαγραφές ως προς τη σχέση μεταδόσεως, όπως και για την καθοδήγηση μελών πάνω σε τροχιές με οποιαδήποτε γεωμετρική μορφή. Γι αυτούς τους λόγους, οι μηχανισμοί με οδηγητικές καμπύλες εμφανίζονται σε πολλούς τύπους μηχανών. Παραδείγματα αποτελούν οι μηχανές εκτυπώσεως, συσκευασίας, και άλλες στις οποίες οι μηχανισμοί με οδηγητικές καμπύλες, μπορούν μεταξύ άλλων, να ρυθμίζουν την αυτόματη εξέλιξη του κύκλου της εκάστοτε εκτελούμενης διεργασίας.

3.2.1 Δομή και είδη μηχανισμών με οδηγητικές καμπύλες

Ένας μηχανισμός με οδηγητικές καμπύλες αποτελείται από ένα κινητήριο μέλος, το οποίο είναι συνήθως ένας δίσκος (κνώδακας), ο οποίος έχει συγκεκριμένη γεωμετρία στην εξωτερική του επιφάνεια ή αυλάκι, και φέρει την οδηγητική καμπύλη. Η καμπύλη αυτή ελέγχει την κίνηση του ακόλουθου, του δεύτερου δηλαδή μέλους της διάταξης, του οποίου την κίνηση καθοδηγεί η καμπύλη του πρώτου μέρους. Τέλος, αποτελείται από το τρίτο μέλος, το οποίο είναι ταυτόχρονα το πλαίσιο μηδέν του μηχανισμού, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Σχήμα 3.3: Μέλη μηχανισμού με οδηγητικές καμπύλες

Τα σχήματα του ακόλουθου μπορούν να ποικίλουν στη θέση επαφής με την οδηγητική καμπύλη, κι έτσι διακρίνονται σε τρεις βασικούς τύπους, σε χωρικούς(οι άξονες είναι ασύμβατες ευθείες), σφαιρικούς (οι άξονες τέμνονται) κι επίπεδους (οι άξονες είναι παράλληλες ευθείες).

Ο κνώδακας του μηχανισμού που φέρει την οδηγητική καμπύλη, μπορεί να έχει τη μορφή ενός περιστρεφόμενου δίσκου, ή ενός ευθύγραμμα παλινδρομικού κινούμενου κανόνα. Ο ακόλουθος, εφόσον συνδέεται με το πλαίσιο μέσω μιας αρθρώσεως περιστροφής, χαρακτηρίζεται σαν στρόφαλος, ενώ εφόσον συνδέεται με το πλαίσιο σε μια άρθρωση ολισθήσεως χαρακτηρίζεται ως ωστήρας.

Για την αποφυγή της τριβής ολισθήσεως μεταξύ του κνώδακα και του ακολούθου, αλλά και για τον περιορισμό των φθορών, κυρίως της οδηγητικής καμπύλης, προστίθεται στον ακόλουθο ένας ενδιάμεσος τροχίσκος, ο οποίος βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με την οδηγητική καμπύλη, αποτελώντας το τέταρτο μεέλος του μηχανισμου.

Σχήμα 3.4: Παράδειγμα μηχανισμού κνώδακα με ακόλουθο

Για την επίτευξη μια συνεχής μετάδοσης της κίνησης από τον κνώδακα στον ακόλουθο, πρέπει η οδηγητική καμπύλη και ο ακόλουθος να βρίσκονται συνεχώς σε επαφή. Η προϋπόθεση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω εξάσκησης εξωτερικής δύναμης, ή κατάλληλης κατασκευαστικής διαμόρφωσης.

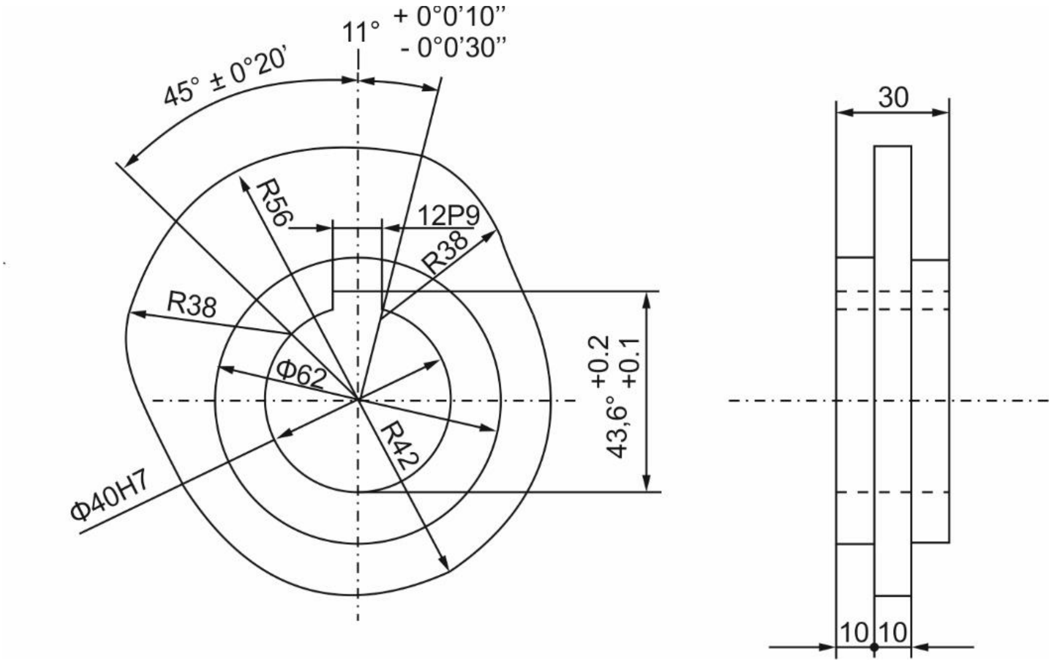
3.2.2 Διαστασιολόγηση οδηγητικών καμπυλών

Για τη διαστασιολόγηση των οδηγητικών καμπυλών, υπάρχουν δύο τρόποι. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο, διαστάσεις του περιγράμματος αποτελούν οι διαδοχικές ακτίνες καμπυλότητας του περιγράμματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, δίνονται οι καρτεσιανές ή πολικές συντεταγμένες διαδοχικών σημείων του περιγράμματος.

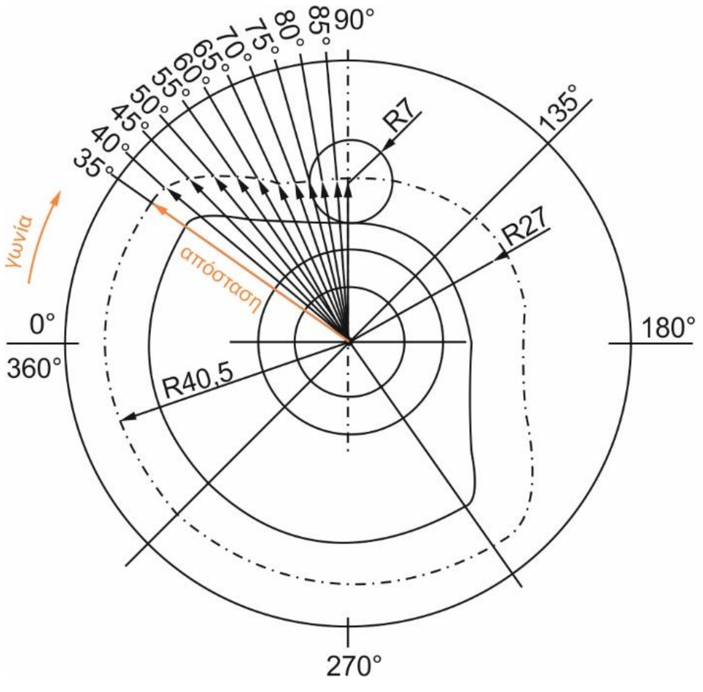
Στις οδηγητικές καμπύλες, η καταχώρηση διαστάσεων σχετικά με τη θέση του ακολούθου, πρέπει να τοποθετείται στο σχέδιο ,εφόσον είναι αναγκαία. Ακολουθεί παράδειγμα στο οποίο γίνεται καταχώρηση ολικών συντεταγμένων σε πίνακα, με γωνία β την πολική γωνία των διαδοχικών θέσεων του τροχίσκου, και α η απόσταση της κάθε θέσης του εξωτερικού σημείου του τροχίσκου από το κέντρο γύρω από το οποίο περιστρέφεται η οδηγητική καμπύλη.

Σε όλους τους μηχανισμούς με οδηγητική καμπύλη, κινητήριο μέλος αποτελεί ο κνώδακας, και κινούμενο ο ακόλουθος. Μέσω της γεωμετρικής μορφής της οδηγητικής καμπύλης, υπάρχει η δυνατότητα περιγραφής σχεδόν κάθε πιθανής σχέσης μετάδοσης, και με αυτόν τον τρόπο, να πραγματοποιηθούν οι προδιαγραφές μετάδοσης κίνησης, εντός μιας περιόδου.

Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα τοποθέτησης των διαστάσεων σε οδηγητικές καμπύλες. Στο πρώτο παράδειγμα οι διαστάσεις ενός κνώδακα που φέρει οδηγητική καμπύλη, καταχωρούνται σύμφωνα με τη μέθοδο των διαδοχικών καμπυλοτήτων. Στο δεύτερο παράδειγμα, οι διαστάσεις ενός κνώδακα δίνονται, αλλά με πολικές συντεταγμένες διαδοχικών σημείων της οδηγητικής καμπύλης.



Σχήμα 3.4: Παράδειγμα καταχώρησης διαστάσεων σε οδηγητική καμπύλη



γωνία	απόσταση (mm)
35°	40,4
40°	40
45°	39
50°	37
55°	35
60°	33
65°	31
70°	29
75°	27
80°	27
85°	27

Σχήμα 3.5: Παράδειγμα καταχώρησης διαστάσεων σε οδηγητική καμπύλη

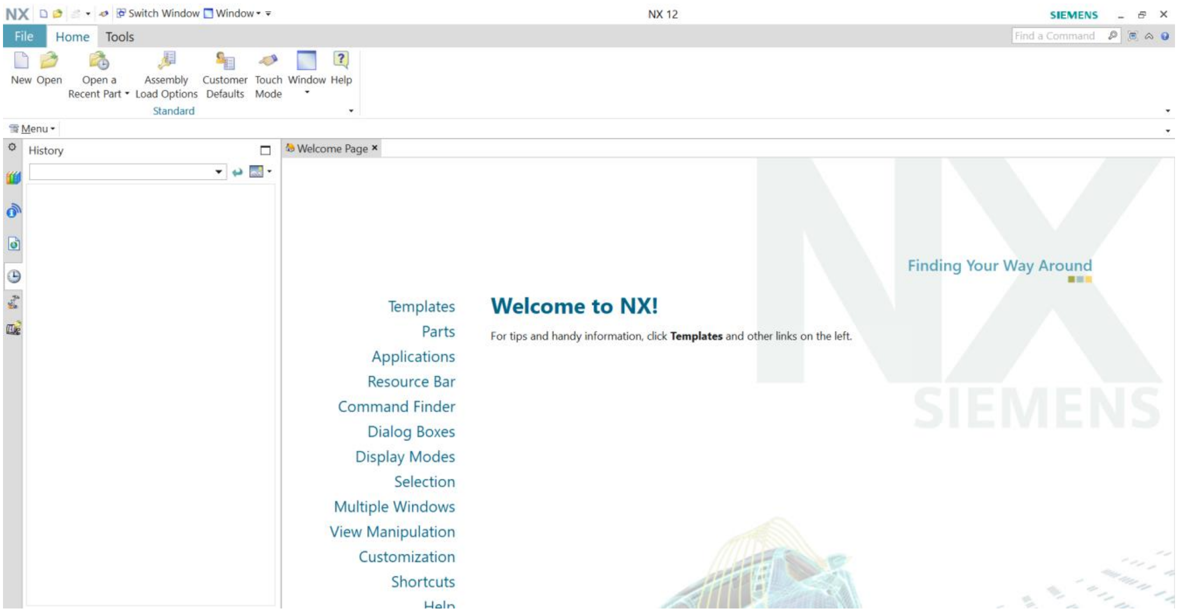
4. NX SIEMENS

4.1 Περιβάλλον NX και δυνατότητες

Το λογισμικό NX Siemens, το οποίο υπήρξε παλαιότερα γνωστό ως ‘’Unigraphics’’ αποτελεί ένα προηγμένης τεχνολογίας λογισμικό CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) και CAE (Computer Aided Engineering). Κυκλοφόρησε πρώτη φορά το 1973 με την αρχική επωνυμία, ακολουθώντας μια σειρά από λογισμικές μεταποιήσεις, έως ώτου αγοράστηκε τελικά από τη SIEMENS το 2007, εμφανιζόμενο στην αγορά ως NX 5, με NX 2212 ονομαζόμενη η τελευταία του έκδοση, τον Δεκέμβρη του 2022.

Το λογισμικό Siemens NX αποτελεί μια ισχυρή και ταυτόχρονα ευέλικτη ολοκληρωμένη λύση, η οποία βοηθάει στην δημιουργία καλύτερων προϊόντων, γρηγορότερα, και πιο αποτελεσματικά. Προσφέρει την επόμενη γενιά στη σχεδίαση, την προσομοίωση, καθώς και σε κατασκευαστικές λύσεις, οι οποίες επιτρέπουν στις εταιρίες να συνειδητοποιήσουν και να αναγνωρίσουν την αξία του ψηφιακού δίδυμου (digital twin)

Υποστηρίζοντας κάθε πτυχή της ανάπτυξης προϊόντων, από τη σχεδίαση ιδεών έως την κατασκευή και τη μηχανική, μέσω του NX δίνεται ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων, το οποίο συντονίζει κλάδους, διατηρεί την ακεραιότητα των δεδομένων και πρόθεση σχεδιασμού, και απλοποιεί ολόκληρη τη διαδικασία.



Σχήμα 4.1: Περιβάλλον NX

Το NX χωρίζεται σε :

1. Σχεδιαστικό (NX for Design)

Το NX for Design με τη χρήση περισσότερων εικονικών μοντέλων προϊόντων, και λιγότερων πιο δαπανηρών φυσικών πρωτοτύπων, δίνει τη δυνατότητα παράδοσης καλύτερων προϊόντων, πρώτη φορά στην αγορά. Αυτό οδηγεί σε κέρδη της αγοράς, σε χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης, καθώς και σε βελτιωμένη ποιότητα προϊόντων.

2. Κατασκευαστικό (NX for Manufacturing)

Το NX for Manufacturing επιτρέπει την οδήγηση αποτελεσματικών εργασιών κατασκευής από άκρο σε άκρο, καθώς και παραδίδει εξαρτήματα υψηλής ακρίβειας μέσω της ψηφιοποίησης (digitalization). Περιέχει προγραμματισμό CNC εργαλειομηχανών, έλεγχο ρομποτικών κυψέλων (robotic cells), προγραμματισμό τρισδιάστατων εκτυπωτών αλλά και παρακολούθηση της ποιότητας, μέσω ενός συστήματος λογισμικού

3. Συγχρονισμού (Syncrofit)

Η διαδικασία ανάπτυξης σύνθετων συγκροτημάτων (assemblies) από άκρο σε άκρο, απαιτεί συνεχή διαχείριση πληροφοριών, καθώς και προσοχή στη λεπτομέρεια, καθιστώντας την εφαρμογή μιας αποτελεσματικής διαδικασίας διαχείρισης, σημαντική για τη διατήρηση οποιουδήποτε προγράμματος εντός του χρονοδιαγράμματος.

Το χαρτοφυλάκιο (portfolio) λογισμικού Syncrofit προσφέρει μια ταυτόχρονη προσέγγιση στη διαδικασία σχεδιασμού και τη διαδικασία κατασκευής, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στην πολυπλοκότητα των εξαρτημάτων και των συναρμολογούμενων εξαρτημάτων. Με αυτήν την ολοκληρωμένη μέθοδο σύνθετου σχεδιασμού και κατασκευής, επιτρέπεται στο χρήστη η λήψη καλά ενημερωμένων αποφάσεων σχεδιασμού, για μια συνολικά ομαλότερη πορεία προς την υλοποίηση της σχεδίασης. Το λογισμικό Syncrofit παρέχει έγκαιρη και συνεχή επαλήθευση των κανόνων σχεδίασης, αυτοματοποίηση των πιο κουραστικών εργασιών σχεδιασμού, καθώς και ενημερώσεις BOM με σκοπό την αποφυγή προβλημάτων προμήθειας, αλλά και ταυτόχρονα για τη βελτίωση της επικοινωνίας τόσο εσωτερικά όσο και με τους προμηθευτές, σε ολόκληρη τη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής.

4. Ίνες (Fibersim)

Το λογισμικό Fibersim αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση σχεδίασης και κατασκευής για σύνθετα μέρη. Μέσω του χαρτοφυλακίου του συγκεκριμένου λογισμικού, ανακαλύπτεται η πολυπλοκότητα των υλικών που είναι ενισχυμένα με ίνες, καθώς και παρέχεται μια ταυτόχρονη μηχανική διαδικασία, κατά την οποία η ανάλυση και ο σχεδιασμός εκτελούνται στο πλαίσιο της διαδικασίας παραγωγής, η οποία έχει μείζον ρόλο στην ανάπτυξη των βέλτιστων σχεδίων. Ακόμη, η ανοιχτή αρχιτεκτονική του λογισμικού, παρέχει ένα εξειδικευμένο περιβάλλον μηχανικής για τη δημιουργία ενός σύνθετου ψηφιακού διδύμου σε NX, CATIA ή CREO.

Όσον αφορά το πρόγραμμα του λογισμικού που περιλαμβάνεται στη σχεδίαση με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, δηλαδή στον τομέα του **CAD**, βρίσκει χρήση στις ακόλουθες λειτουργίες:

- **Μοντελοποίηση στερεών με τη βοήθεια παραμέτρων**
  Η μοντελοποήση στερεών αποτελεί ένα σύνολο μαθηματικών και υπολογιστικών αρχών, με σκοπό τη μοντελοποίηση σε τρεις διαστάσεις, και διακρίνεται λόγω της έμφασής της στη φυσική πιστότητα, αποτελώντας θεμέλιο της τρισδιάστατης σχεδίασης με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και υποστηρίζοντας ενέργειες όπως η δημιουργία, η ανταλλαγή, η οπτικοποίηση, η κίνηση κ.λπ των ψηφιακών μοντέλων φυσικών αντικειμένων.

- **Μοντελοποίηση επιφανειών ελεύθερης μορφής**
  Η επιφάνεια ελεύθερης μορφής χρησιμοποιείται σε γραφικά λογισμικά, ώστε να περιγράψει το ''δέρμα'' ενός τρισδιάστατου γεωμετρικού στοιχείου. Αποτελείται από άκαμπτες ακτινικές διαστάσεις και χρησιμοποιείται για παράδειγμα για την περιγραφή μορφών, τέτοιων όπως τα πτερύγια μιας τουρμπίνας, το αμάξωμα ενός αυτοκινήτου κ.α. Ενώ αναπτύχθηκε αρχικά για την αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροδιαστημική βιομηχανία, χρησιμοποιείται πλέον ευρέως σε όλους τους του μηχανικού σχεδιασμού, με τη βοήθεια κυρίως των καμπυλών B-Splines για την περιγραφή των επιφανειακών μορφών, ή διαφορετικών μεθόδων όπως για παράδειγμα οι επιφάνειες Gordon και Coons.

- **Αντίστροφη μηχανική**
  Η αντίστροφη μηχανική είναι μια διαδικασία, κατά την οποία εξάγεται η απαιτούμενη πληροφορία για τη σχεδίαση ενός ήδη υπάρχοντος προϊόντος. Στη γενικευμένη της μορφή, η διαδικασία αυτή αποτελείται από τρία στάδια. Αρχικά την απόκτηση των τρισδιάστατων (3D) δεδομένων, στη συνέχεια την επεξεργασία των δεδομένων σάρωσης, και τελικώς, τις εφαρμογές αλλά και την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων.

- **Βιομηχανικό σχεδιασμό**
  Ο βιομηχανικός σχεδιασμός αναφέρεται στο σχέδιο προτώτυπων αντικειμένων, το οποίο έχεις ως στόχο την κατασκευή, τυποποίηση και παραγωγή του. Περιλαμβάνει τη σχεδίαση απλών αντικειμένων, έως και εργαλείων, μέσως μεταφοράς κ.λπ., με γνώμονα την αισθητική και ταυτόχρονα τη λειτουργικότητα.

- **Πληροφορίες κατασκευής και προϊόντος (PMI)**
  Οι πληροφορίες προϊόντος και κατασκευής, ευρύτερα γνωστά ως PMI, μεταφέρουν χαρακτηριστικά, τα οποία είναι μη γεωμετρικά, σε συστήματα τρισδιάστατης σχεδίασης, με τη βοήθεια του CAD και της συνεργατικής ανάπτυξης προϊόντων (Collaborative Product Development), συστημάτων απαραίτητων για την κατασκευή τόσο εξατημάτων, όσο και συναρμολόγησης εξαρτημάτων. Περιλαμβάνει γεωμετρικές διαστάσεις, ανοχές, τρισδιάστατο σχολιασμό / κείμενο, προδιαγραφές υλικού κ.α.

- **Αναλύσεις – επαλήθευση / επικύρωση**
  Η επαλήθευση και η επικύρωση (Verification and Validation / V&V) αποτελούν δύο ανεξάρτητες διαδικασίες, οι οποίες όμως χρησιμοποιούνται μαζί, για τον έλεγχο πληρότητας των προδιαγραφών ενός προϊόντος, μιας υπηρεσίας, ή ενός συστήματος. Αυτά αποτελούν κρίσιμα στοιχεία σε ένα σύστημα διαχείρισης ποιότητας, όπως για παραδειγμα το ISO 9000.

- **Μοντελοποίηση συναρμολόγησης**
  Η μοντελοποίηση συναρμολόγησης αποτελεί μια τεχνολογία / μέθοδο, η οποία χρησιμοποιείται από μέσω ηλεκτρονικού σχεδιασμού και λογισμικού οπτικοποίησης προϊόντος, με δυνατότητα χειρισμού πολλών αρχείων, τα οποία αποτελούν επιμέρους μέλη ενός συνόλου, στη συγκεκριμένη περίπτωση, μέλη και εξαρτήματα μιας συναρμολόγησης. Μέσω αυτής, επιτρέπεται η ενσωμάτωση του σχεδιασμού και της παραγωγής, στον προγραμματισμό και έλεγχο.

- **Ψηφιακή μακέτα (DMU)**
  Η ψηφιακή μακέτα (Digital MockUp / DMU) είναι μια έννοια, η οποία επιτρέπει την περιγραφή ενός, συνήθως τρισδιάστατου προϊόντος, για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του, καθώς αποτελείται απ’ όλες τις δραστηριότητες οι οποίες συμβάλλουν στην περιγραφή του προϊόντος. Ένας από τους στόχους αυτής της δημιουργίας, είναι η γνώση του μέλλοντος ή του υποστηριζόμενου προϊόντος, για την αντικατάσταση τυχόν φυσικών πρωτοτύπων με εικονικά, με χρήση τεχνικών τρισδιάστατων γραφικών υπολογιστή. Μέρος του αποτελεί και το Digital Prototyping ή Virtual Prototyping, καθώς δίνει τη δυνατότητα στους μηχανικούς να σχεδιάζουν και να εκτελούν αλλαγές διαμορφώνοντας σύνθετα προϊόντα, επικυρώνοντας παράλληλα τα σχέδιά τους, χωρις να χρειαστεί η δημιουργία του φυσικού μοντέλου

- **Δρομολόγηση ηλεκτρικών καλωδιώσεων και μηχανικών σωληνώσεων**
  Η δρομολόγηση αποτελεί μια διαδικασία επιλογής μίας διαδρομής, είτε για κίνηση σε ένα δίκτυο, είτε μεταξύ πολλών. Επίσης εκτελείται σε πολλούς τύπους δικτύων, όπως για παράδειγμα οι ηλεκτρικές καλωδιώσεις, καθώς και οι μηχανικές σωληνώσεις, οι οποίες, στη βιομηχανία περιλαμβάνουν ένα σύστημα από σωλήνες, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ρευστών(υγρών και αερίων), με τη δρομολόγηση να έχει ως σκοπό την μελέτη της πιο αποτελεσματικής μεταφοράς.

Όσον αφορά το πρόγραμμα του λογισμικού που περιλαμβάνεται η κατασκευή με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, δηλαδή στον τομέα του **CAM**, βρίσκει χρήση στην ακόλουθη λειτουργία:

- **Αριθμητικός / Ψηφιακός έλεγχος (Numeric Control)**
  Αριθμητική ψηφιακή καθοδήγηση ονομάζεται ο αυτοποιημένος έλεγχος εργαλείων μηχανικής κατεργασίας, με χρήση κωδικοποιημένων αριθμητικών πληροφοριών, σε εργαλειομηχανές ευρύτερα διαδεδομένες ως CNC όπως για παράδειγμα ο τόρνος, η φρέζα κ.λπ.

Εν συνεχεία, όσον αφορά το πρόγραμμα του λογισμικού που περιλαμβάνεται η μηχανική με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, δηλαδή στον τομέα του **CAE**, βρίσκει χρήση στις ακόλουθες λειτουργίες:

- **Ανάλυση τάσης**
  Με τον όρο τάση, χαρακτηρίζεται η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας και ορόζεται ως το διάνυσμα ενός σημείου διατομής, με μέτρο ίσο με τη δύναμη προς την επιφάνεια. Η ανάλυση της τάσης αποτελεί έναν κλάδο της μηχανικής, ο οποίος χρησιμοποιεί ποικίλους τρόπους και μεθόδους, με σκοπό τον προσδιορισμό των τάσεων, καθώς και των παραμορφώσεων, είτε σε υλικά, είτε σε κατασκευές που υφίστανται δυνάμεις.

- **Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method – FEM)**
  Ενώ η αρχική διατύπωση της έννοιας της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων έγινε με βάση την μυτρωική ανάλυση, στη συνέχεια επικράτησε η διατύπωση η οποία βασίζεται στη μέθοδο των μετατοπίσεων, όπου τα βασικά στάδια της μεθόδου παρουσιάζονται αναφορικά:

  1. Προσομοίωση, ή αλλιώς διακριτοποίηση της κατσκευής με ένα σύνολο στοιχείων, τα οποία συνδέονται σε συνοριακούς κόμβους.

2. Προσδιορισμός των γενικευμένων μετατοπίσεων, ο οποίος θα είναι πλήρως καθοριστικός για την απόκριση της κατασκευής.
3. Διατύπωση των εξισώσεων ισορροπίας, οι οποίες αντιστοιχούν στις άγνωστες μετατοπίσεις κόμβων, καθώς και η επίλυσή τους.
4. Υπολογισμός των εσωτερικών κατανομών των τάσεων των στοιχείων, για δεδομένες κομβικές μετατοπίσεις.
5. Ερμηνεία / εξήγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, έχοντας ως βάση τις δεδομένες παραδοχές του προβλήματος.

- **Κινηματική**
  Η κινηματική αποτελεί ένα υποπεδίο της φυσικής, το οποίο αναπτύχθηκε στην μηχανική και περιγράφει την κίνηση σημείων, σωμάτων ή αντικειμένων, καθώς και συστημάτων σωμάτων, χωρίς όμως να λαμβάνει υπόψιν τις δυνάμεις οι οποίες τα αναγκάζουν να κινηθούν (κινητική).

- **Υπολογιστική δυναμική ρευστών (Computational Fluid Dynamics – CFD)**
  Η Υπολογιστική ρευστοδυναμική αποτελεί επιστήμη, η οποία, βοηθούμενη από τους ψηφιακούς υπολογιστές, παράγει ποσοτικές προβλέψεις φαινομένων ροής ρευστού, βασιζόμενη στους νόμους διατήρησης που καθορίζουν την κίνηση του ρευστού (μάζα, ορμή, ενέργεια).

- **Θερμική ανάλυση**
  Η θερμική ανάλυση αποτελεί ένα σύνολο διεξοδικών τεχνικών, στις οποίες υπολογίζεται μια ιδιότητα ενός δείματος ή των προϊόντων αντίδρασής του, συναρτήσει της θερμοκρασίας, ενώ το δείγμα υποβάλλεται σε προγραμματισμένη θερμική διεργασία και υπό καθορισμένο περιβάλλον.

Για την παραμετρική αναπαράσταση καμπυλών, χρησιμοποιείται το NX for Design, και πιο συγκεκριμένα, το εργαλείο Expressions.

4.2 Expressions NX

Το Expressions στο NX Siemens CAD αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν αλλά και να χειρίζονται μαθηματικές εκφράσεις, ώστε να τροποποιούν διαστάσεις, παραμέτρους, καθώς και άλλες ιδιότητες σχεδίασης. Επιτρέπει τη δημιουργία παραμετρικών μοντέλων, διευκολύνοντας ταυτόχρονα και την τροποποίηση και προσαρμογή σχεδίων με βάσει τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις.

4.2.1 Δυνατότητες και λειτουργίες του εργαλείου Expressions στο NX

1. Παραμετρική Μοντελοποίηση

Μέσω του εργαλείου Expressions, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να ορίσει παραμέτρους και να τις συσχετίσει με ποικίλα σχεδιαστικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα διαστάσεις, θέσεις, γωνίες κ.α. Με τη χρήση των παραμέτρων αυτών, μπορούν να δημιουργηθούν σχέσεις μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών του μοντέλου του χρήστη, επιτρέποντας αλλαγές παραμετρικής σχεδίασης.

2. Μαθηματικές Εκφράσεις

Το εργαλείο Expressions εμπεριέχει και υποστηρίζει ένα πολύ ευρύ φάσμα μαθηματικών πράξεων, συναρτήσεων αλλά και σταθερών τιμών. Στη χρήση του περιλαμβάνονται οι αριθμητικές πράξεις (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός, διαίρεση), οι τριγωνομετρικές συναρτήσεις (ημίτονο(sin), συνημίτονο(cos), εφαπτομένη(tan) κ.λπ.), μαθηματικές συναρτήσεις (ρίζα(sqrt), απόλυτο(abs), δύναμη(pow), καθώς και λογικούς τελεστές (if, και, ή) για τη δημιουργία σύνθετων εκφράσεων.

3. Δυναμική Ενημέρωση (Dynamic updating)

Με την τροποποίηση των τιμών παραμέτρων ή άλλων στοιχείων που καθορίζονται από το εργαλείο Expressions, γίνεται αυτόματη ενημέρωση των σχετικών δυνατοτήτων ή διαστάσεων, ώστε να υπάρχει άμεσος αντικατοπτρισμός των αλλαγών στο μοντέλο. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει γρήγορες και αποτελεσματικές επαναλήψεις σχεδίασης, χωρίς την ανάγκη χειροκίνητων προσαρμογών.

4. Αυτοματισμός Σχεδίασης (Design Automation)

Οι εκφράσεις (Expressions) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία έξυπνων και ευέλικτων μοντέλων, τα οποία μπορούν να αυτοματοποιηθούν. Με τον έλεγχο των παραμέτρων μέσω των εκφράσεων παραστάσεων, είναι δυνατή η δημιουργία εύκολων και ποικίλων διαμορφώσεων / παραλλαγών σχεδίασης, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και ενέργεια.

5. Expressions Dialog

Το εργαλείο Expressions παρέχει ένα φιλικό πρόγραμμα επεξεργασίας διαλόγου ή ορισμού εξισώσεων προς το χρήστη, ώστε να διαχειριστεί ή επεξεργαστεί εκφράσεις. Μέσω αυτής της διεπαφής, επιτρέπεται στον χρήστη να προβάλει και να τροποποιήσει τις τιμές των παραμέτρων , να δημιουργήσει νέες εκφράσεις, να εκτελέσει υπολογισμούς, καθώς και να αξιολογήσει σύνθετες εκφράσεις με σκοπό τον εντοπισμό σφαλμάτων ή την ανάλυση.

6. Expression Dependencies

Το NX Siemens CAD διαχειρίζεται αυτόματα τις εξαρτήσεις των εκφράσεων (expression dependencies). Με την ενημέρωση μιας παράστασης, τα σχετικά χαρακτηριστικά, οι διαστάσεις και άλλες εκφράσεις που εξαρτώνται από αυτήν, υπολογίζονται αναλόγως εκ νέου. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι οι αλλαγές οι οποίες γίνονται σε μία έκφραση (expression) διαδίδονται με συνέπεια σε ολόκληρο το μοντέλο, έχοντας ως αποτέλεσμα την ανάλογη μετατροπή του.

Συνεπώς, το εργαλείο Expressions στο NX Siemens CAD προσφέρει μεγάλη ευελιξία στον χρήστη, καθώς και έλεγχο στα σχέδιά του, επιτρέποντας του τη δημιουργία παραμετρικών μοντέλων, την αυτοματοποίηση των παραλλαγών σχεδίασης, καθώς και την γρήγορη προσαρμογή στις αλλαγές σχεδιασμού. Με αυτόν τον τρόπο, δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να κατασκευάζουν έξυπνα και ανταποκρινόμενα μοντέλα, βελτιώνοντας τόσο την αποδοτικότητα, όσο και την παραγωγικότητα στη διαδικασία σχεδιασμού.

4.2.2 Τρόποι σχεδίασης και επεξεργασίας καμπυλών μέσω του εργαλείου Expressions NX

Για τον σχεδιασμό καμπυλών, υπάρχουν οι επιλογές δημιουργίας μέσω των έτοιμων εντολών σχεδιασμού του NX Siemens, όπως για παράδειγμα οι εντολές κύκλος (circle), έλλειψη (ellipse) κ.α. και στη συνέχεια η τροποποίησή τους μέσω του εργαλείου Expressions, ή η επιλογή της εξαρχής δημιουργίας τους μέσω του Expressions.

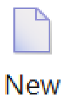
Χρήση του εργαλείου εκφράσεων (Expressions) για την τροποποίηση υπαρχουσών καμπυλών:

Με αυτόν τον τρόπο εστιάζεται η ευκολία, καθώς και η αποτελεσματικότητα της τροποποίησης καμπυλών με τη χρήση του εργαλείου Expressions. Εν συνεχεία, τονίζεται η ικανότητα της γρήγορης προσαρμογής και επανάληψης σε σχέδια, απλά με την προσαρμογή των παραμέτρων των Expressions, με σκοπό την αλλαγή των διαστάσεων, του σχήματος ή της θέσης της καμπύλης. Τέλος, επιδεικνύεται η ευελιξία του πειραματισμού και της εξερεύνησης εναλλακτικών σχεδιαστικών λύσεων, χωρίς την απαίτηση αναδημιουργίας ολόκληρης της καμπύλης.

Χρήση του εργαλείου εκφράσεων (Expressions) για τη δημιουργία καμπυλών από το μηδέν (from Scratch):

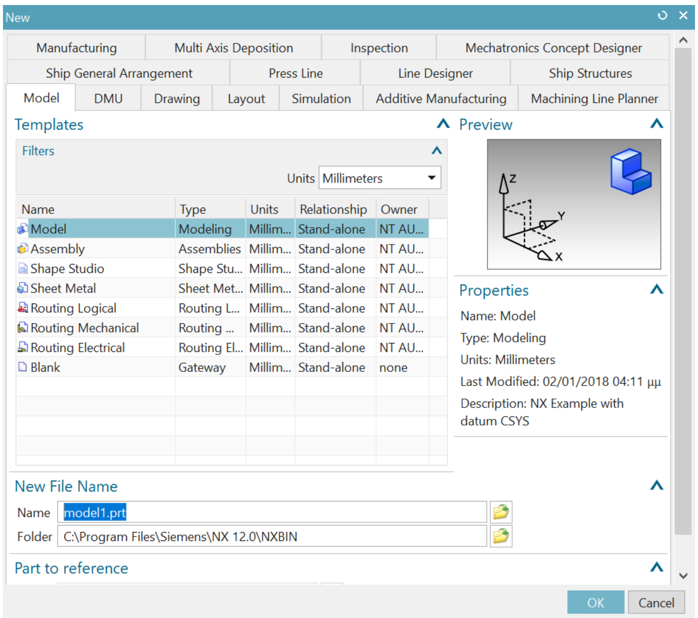
Με αυτόν τον τρόπο επιδεικνύονται οι πλήρεις δυνατότητες του εργαλείου Expressions, καθώς η δημιουργία καμπυλών από την αρχή μέσω αυτού, παρουσιάζει τη δυνατότητά του να ορίζει και να ελέγχει δυναμικά πολύπλοκη γεωμετρία. Μέσω αυτής της προσέγγισης δίνεται έμφαση στην ευελιξία και την παραμετρική φύση του λογισμικού, η οποία επιτρέπει στον χρήστη την εύκολη τροποποίηση της καμπύλης προσαρμόζοντας τις απαραίτητες παραμέτρους έκφρασης. Παράλληλα παρουσιάζεται η δυνατότητα δημιουργίας εξατομικευμένης καμπύλης, η οποία ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμη στα τυπικά εργαλεία σκιαγράφησης (sketching tools).

4.3 Σχεδιασμός και αναπαράσταση καμπυλών με στο περιβάλλον NX με χρήση του εργαλείου Expressions



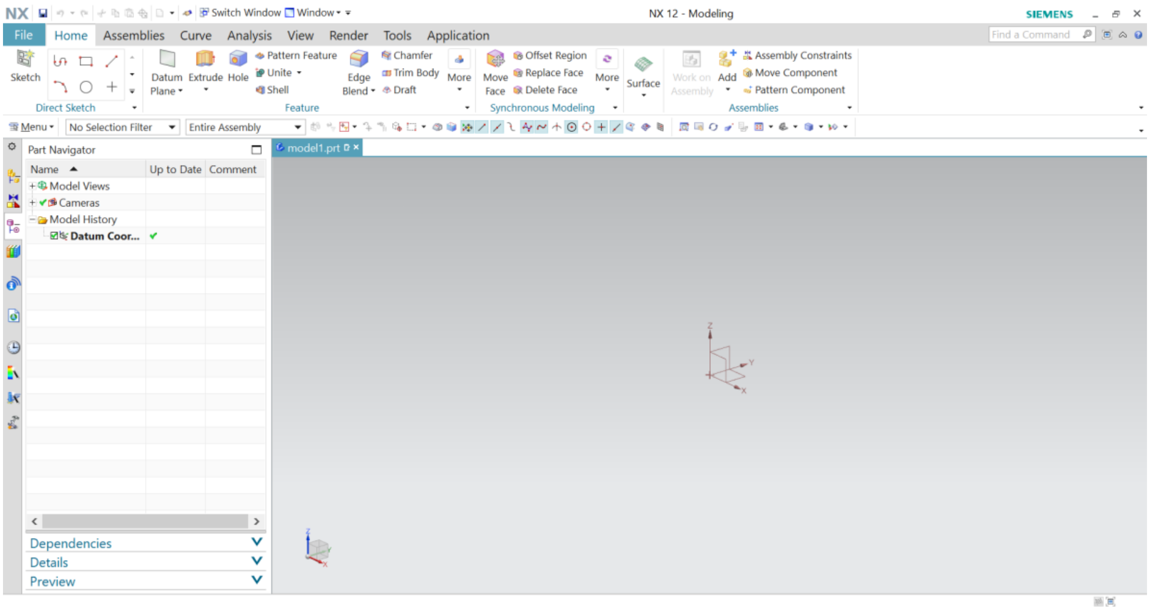
Εφόσον γίνει εισαγωγή στο περιβάλλον του NX Siemens, επιλέγεται η επιλογή New, η οποία βρίσκεται πάνω αριστερά στο περιβάλλον του προγράμματος.

Στη συνέχεια, εμφανίζεται ένα παράθυρο επιλογών, κατά το οποίο καλείται ο χρήστης να επιλέξει το είδος του σχεδίου που θέλει να κάνει (π.χ. μοντέλο, συναρμογή, κ.α.).

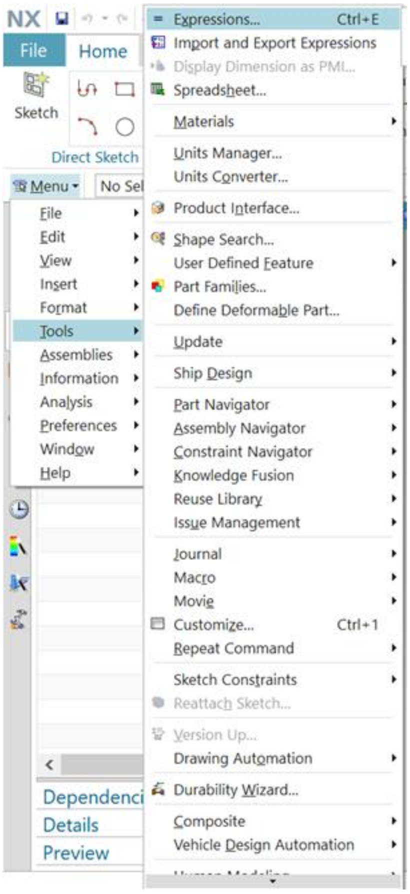


Σχήμα 4.2: Παράθυρο New στο NX Siemens

Αφότου γίνει η επιλογή <<Model>> στη συνέχεια επιλέγεται το ΟΚ και ανοίγει το κεντρικό παράθυρο σχεδιασμού του NX.



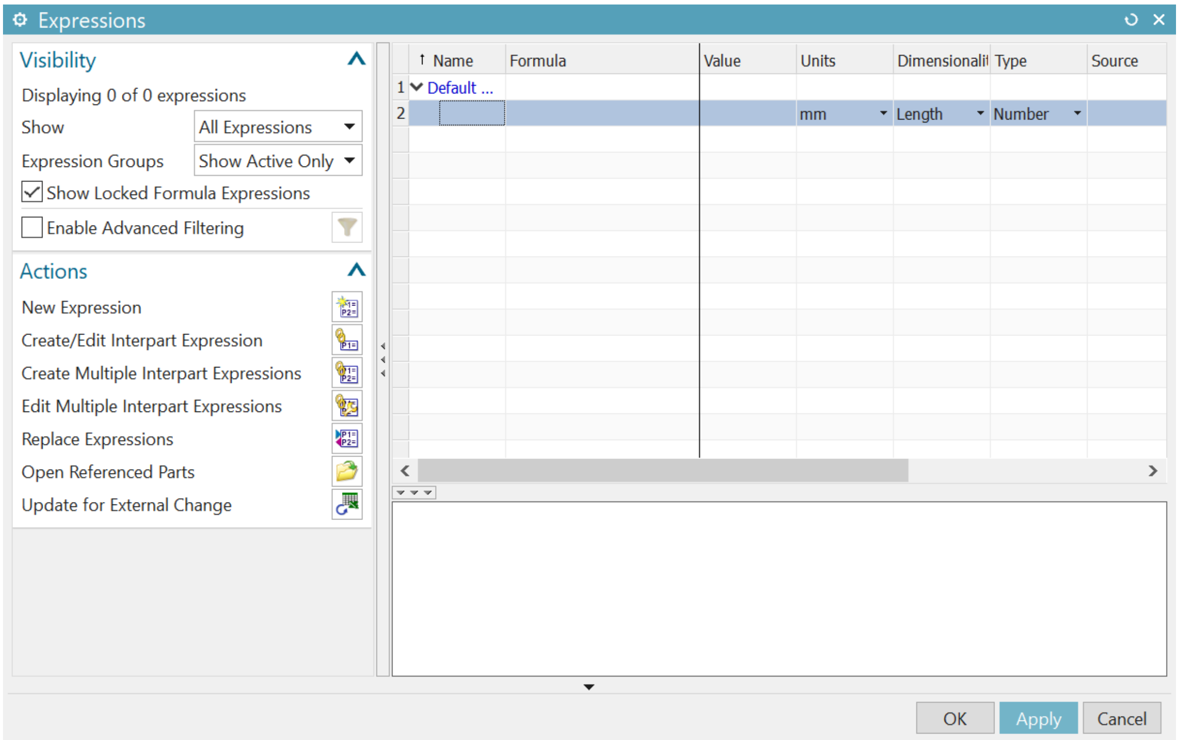
Σχήμα 4.3: Περιβάλλον modeling στο NX Siemens



Για τον σχεδιασμό καμπυλών με χρήση του εργαλείου Expressions στο NX Siemens, επιλέγεται το Menu, το οποίο βρίσκεται στο πάνω αριστερό μέρος της σελίδας. Στη συνέχεια, από τις εμφανιζόμενες επιλογές χρησιμοποιείται η επιλογή Tools (εργαλεία) και από τα εικονιζόμενα επιλέγεται το Expressions, το οποίο όπως φαίνεται είναι τοποθετημένο στην κορυφή της λίστας.

Εφόσον επιλεχθεί, στο περιβάλλον του NX ανοίγει ένα νέο παράθυρο, αυτό των εκφράσεων, όπου παρουσιάζεται ο πίνακας ο οποίος πρέπει να συμπληρωθεί, με σκοπό τον σχεδιασμό και την αναπαράσταση της ζητούμενης καμπύλης.

Σχήμα 4.4: Εντολή Expressions



Σχήμα 4.5: Παράθυρο εργαλείου Expressions

Αριστερά του πίνακα, εμφανίζεται ένα παράθυρο το οποίο ονομάζεται Visibility (ορατότητα), καθώς και το παράθυρο το οποίο ονομάζεται Actions (δραστηριότητα) ,όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

Σχήμα 4.6: Παράθυρο Ορατότητας (Visibility)

Όπου στην **πρώτη γραμμή** του πίνακα παρουσιάζεται η προβολή του αριθμού των εκφράσεων. Δηλαδή, γίνεται απεικόνιση του αριθμού των εκφράσεων (Expressions) που έχουν χρησιμοποιηθεί από τον χρήστη. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που έχουν χρησιμοποιηθεί 5 εκφράσεις στο εργαλείο Expressions, στον πίνακα Visibility θα φαίνεται:

<<Displaying 5 of 5 expressions>>.

Displaying 0 of 0 expressions	Προβολή του αριθμού των εκφράσεων
Show All Expressions	Προβολή << Όλων των εκφράσεων>>
Expression Groups Show Active Only	Ομάδες εκφράσεων <<Προβολή μόνο των ενεργών>>
☑ Show Locked Formula Expressions	Εμφάνιση κλειδωμένου τύπου εκφράσεων
☐ Enable Advanced Filtering	Ενεργοποίηση προηγμένου φιλτραρίσματος

Στη **δεύτερη γραμμή**, είναι η επιλογή Show, όπου ζητείται από τον χρήστη να επιλέξει ποιες εκφράσεις θέλει να απεικονίζονται, όπως παρουσιάζεται και στον παρακάτω πίνακα:

User Defined Expressions	Εκφράσεις καθορισμένες από τον χρήστη
Named Expressions	Ονομαστικές εκφράσεις
Unused Expressions	Μη – χρησιμοποιούμενες εκφράσεις
Feature Expressions	Εκφράσεις χαρακτηριστικών
Measurement Expressions	Εκφράσεις μέτρησης
Attribute Expressions	Εκφράσεις ιδιοτήτων
Interpart Expressions	Ενδιάμεσες εκφράσεις
All Expressions	Όλες οι εκφράσεις

Σχήμα 4.7: Παράθυρο Απεικόνισης (Show)

Πιο αναλυτικά:

- Εκφράσεις καθορισμένες από τον χρήστη

Ονομάζονται είτε οι εκφράσεις οι οποίες ορίζονται από τον χρήστη και αποτελούν μαθηματικές εξισώσεις, είτε οι εκφράσεις που δημιουργούνται από τον χρήστη και αποτελούν σχέσεις με σκοπό τον ορισμό προσαρμοσμένων υπολογισμών ή περιορισμών σε ένα μοντέλο. Στον χρήστη επιτρέπεται ο ορισμός των εξισώσεων, των μεταβλητών, των σταθερών, καθώς και των συναρτήσεων σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους, επιτρέποντάς σύνθετους υπολογισμούς, σύνθετες σχέσεις ή συγκεκριμένους κανόνες σχεδιασμού, οι οποίοι δεν είναι άμεσα διαθέσιμοι μέσω των ενσωματωμένων λειτουργιών.

- Ονομαστικές εκφράσεις

Οι ονομαστικές εκφράσεις αποτελούν μαθηματικές εξισώσεις ή σχέσεις, οι οποίες ορίζονται από τον χρήστη και στις οποίες έχει εκχωρηθεί ένα συγκεκριμένο όνομα ή αλλιώς ετικέτα με σκοπό την εύκολη αναγνώριση και αναφορά εντός του μοντέλου. Περιλαμβάνουν μεταβλητές, σταθερές, μαθηματικές πράξεις και συναρτήσεις.

- Μη - χρησιμοποιούμενες εκφράσεις

Μη – χρησιμοποιούμενες εκφράσεις ονομάζονται οι εκφράσεις οι οποίες δημιουργούνται, αλλά δεν χρησιμοποιούνται ή αναφέρονται ενεργά στο μοντέλο. Αποτελούν μαθηματικές εξισώσεις ή σχέσεις, οι οποίες έχουν οριστεί αλλά δεν επηρεάζουν την καθοδήγηση της γεωμετρίας ή της συμπεριφοράς του μοντέλου.

- Εκφράσεις χαρακτηριστικών

Οι εκφράσεις χαρακτηριστικών αποτελούν μαθηματικές εξισώσεις ή σχέσεις, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του μοντέλου. Ορίζουν τις παραμέτρους, τις διαστάσεις, ή τους περιορισμούς που ελέγχουν τη γεωμετρία ή τη συμπεριφορά του αντίστοιχου χαρακτηριστικού.

- Εκφράσεις μέτρησης

Οι εκφράσεις μέτρησης είναι μαθηματικές εξισώσεις ή σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό μετρήσεων, καθώς και την εκτέλεση υπολογισμών βασιζόμενη στη γεωμετρία ή τα χαρακτηριστικά του μοντέλου. Δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες να εξάγουν συγκεκριμένες πληροφορίες από το μοντέλο, καθώς και να εκτελούν μετρήσεις (μήκος, γωνίες, εμβαδά κ.α.) ή υπολογισμούς με βάση τις καθορισμένες εκφράσεις.

- Εκφράσεις ιδιοτήτων

Οι εκφράσεις ιδιοτήτων αποτελούν μαθηματικές σχέσεις ή εξισώσεις, των οποίων η χρήση είναι για τον ορισμό αλλά και τον έλεγχο ιδιοτήτων οι οποίες σχετίζονται με την οντότητα του μοντέλου, δηλαδή χαρακτηριστικά όπως υλικό, μάζα, πυκνότητα, χρώμα κ.α. Επιτρέπουν στον χρήστη να εκχωρεί συγκεκριμένες τιμές, υπολογισμούς ή συνθήκες σε ιδιότητες με βάση τις καθορισμένες εκφράσεις.

- Ενδιάμεσες εκφράσεις / Εκφράσεις μεταξύ των μερών

Οι εκφράσεις μεταξύ μερών είναι μαθηματικές εξισώσεις ή σχέσεις οι οποίες δημιουργούν παραμετρικές συνδέσεις μεταξύ τμημάτων / μερών μέσα σε ένα συγκρότημα / συναρμογή. Επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών, διαστάσεων ή περιορισμών μεταξύ διαφορετικών τμημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται ότι οι αλλαγές που γίνονται σε ένα μέρος, αντικατοπτρίζονται στα αντίστοιχα σχετικά χαρακτηριστικά ή τις διαστάσεις άλλων τμημάτων, βοηθώντας έτσι τη διατήρηση της πρόθεσης σχεδίασης, καθώς και τη διευκόλυνση των αλλαγών σχεδιασμού.

- Όλες οι εκφράσεις

Περιλαμβάνει όλες τις παραπάνω κατηγορίες εκφράσεων.

Στην **τρίτη γραμμή** του πίνακα, στην επιλογή Expression Groups παρουσιάζεται το ακόλουθο πινακάκι, το οποίο αποτελείται από τις τρεις ομάδες () εκφράσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν την εμφάνιση είτε όλων των εκφράσεων, είτε μόνο των ενεργών, ή τέλος την απόκρυψή τους.

Show None	Εμφάνιση καμίας έκφρασης
Show All	Εμφάνιση όλων των εκφράσεων
Show Active Only	Εμφάνιση μόνο των ενεργών εκφράσεων

Σχήμα 4.8: Παράθυρο Expression Groups

Όπου οι ενεργές εκφράσεις αποτελούν μαθηματικές σχέσεις ή εξισώσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται ενεργά για τον καθορισμό, καθώς και τον έλεγχο της γεωμετρίας ή της συμπεριφοράς ενός χαρακτηριστικού.

Στην **τέταρτη γραμμή** του πίνακα Ορατότητας παρουσιάζεται η επιλογή ‘’Εμφάνιση Κλειδωμένου Τύπου Εκφράσεων’’. Οι εκφράσεις κλειδωμένου τύπου (Locked Formula Expressions) αναφέρονται είτε σε μαθηματικές σχέσεις είτε σε εξισώσεις οι οποίες είναι σταθερές και δεν υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας ή τροποποίησή τους απευθείας από τον χρήστη. Δημιουργούνται από το λογισμικό ή από λειτουργίες χαρακτηριστικών εντός του προγράμματος NX, συνήθως αυτόματα με βάση την πρόθεση σχεδίασης, τις παραμέτρους χαρακτηριστικών, ή τις σχέσεις που ορίζονται στο μοντέλο. Βοηθούν στην δημιουργία και διατήρηση των παραμετρικών σχέσεων μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών. Παραδείγματα εκφράσεων κλειδωμένου τύπου αποτελούν οι εξισώσεις για διαστάσεις, γωνίες, όγκους, ή άλλους γεωμετρικούς ή μηχανικούς υπολογισμούς.

Actions ^

New Expression	Προσθήκη νέας έκφρασης
Create/Edit Interpart Expression	Δημιουργία / Επεξεργασία
Create Multiple Interpart Expressions	Δημιουργία πολλαπλών
Edit Multiple Interpart Expressions	Επεξεργασία πολλαπλών
Replace Expressions	Αντικατάσταση εκφράσεων
Open Referenced Parts	Άνοιγμα αναφερόμενων μερών
Update for External Change	Ενημέρωση / εκσυγχρονισμός για εξωτερική αλλαγή

Σχήμα 4.9: Παράθυρο Actions

Πιο αναλυτικά:

- Προσθήκη νέας έκφρασης

Στα πλαίσια του λογισμικού NX, με την προσθήκη νέας έκφρασης δηλώνεται η δημιουργία μίας καινούργιας έκφρασης από τον χρήστη, η οποία μπορεί να αποτελεί μαθηματική σχέση ή εξίσωση και να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση προσαρμοσμένων υπολογισμών, επιτρέποντας την εφαρμογή τύπων ή αλγορίθμων για την εξαγωγή τιμών, ή την εκτέλεση σύνθετων υπολογισμών εντός του μοντέλου.

- Δημιουργία / Επεξεργασία έκφρασης μεταξύ μερών

Στο NX δίνεται στους χρήστες η δυνατότητα να δημιουργούν και να επεξεργαστούν εκφράσεις μεταξύ τους, με σκοπό την εκ νέου δημιουργία ή την τροποποίηση παραμετρικών συνδέσεων μεταξύ διαφορετικών εξαρτημάτων, ή τμημάτων ενός συνόλου (συναρμογής). Μέσω αυτών των εκφράσεων διασφαλίζεται η συγχρονισμένη ενημέρωση και διατήρηση των παραμετρικών σχέσεων σε όλη τη διάταξη.

- Δημιουργία πολλαπλών εκφράσεων μεταξύ μερών

Μέσω του NX, επιτρέπεται η δημιουργία πολλαπλών εκφράσεων μεταξύ των τμημάτων, με σκοπό τη δημιουργλια πολλαπλών παραμετρικών συνδέσεων μεταξύ διαφορετικώνν εξαρτημάτων ή μερών ενός συγκτροτήματος (συναρμογής). Με αυτή τη λειτουργία, δίνεται δυνατότητα για σύνθετες και αλληλένδετες σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μερών. Για τη δημιουργία πολλαπλών εκφράσεων μεταξύ των τμημάτων, οι χρήστες μπορουν να επιλέξουν διαφορετικές διαστάσεις, παραμέτρους κ.α. χαρακτηριστικά από έρη της διάταξης, τα οποία θα χρησιμεύσουν ως είσοδοι για τον καθορισμό των μαθηματικών σχέσεων ή εξισώσεων σε κάθε διαμερική παράσταση.

- Επεξεργασία πολλαπλών εκφράσεων μεταξύ μερών

Η επεξεργασία πολλαπλών εκφράσεων μεταξύ των μερών, επιτρέπει στους χρήστες την τροποποίηση και την ενημέρωση πολλών παραμετρικών συνδέσεων ταυτόχρονα μέσα σε ένα σύνολο τμημάτων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αλλαγή των μεθόδων υπολογισμού, την προσαρμογή σταθερών ή μεταβλητών, ή την ενημέρωση των σχετκών διαστάσεων ή παραμέτρων.

- Αντικατάσταση εκφράσεων

Στο NX υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης των εκφράσεων, όπου οι χρήστες επιτρέπεται να αντικαταστήσουν τις ήδη υπάρχουσες εκφράσεις με νέες, είτε σε ένα μοντέλο, είτε σε ένα συγκρότημα τμημάτων. Η δυνατότητα αυτή είναι χρήσιμη όταν υπάρχει ανάγκη ενημέρωσης ή τροποποίησης πολλαπλών εκφράσεων ταυτόχρονα, παρέχοντας έναν βελτιωμένο τρόπο για την πραγματοποίηση καθολικών αλλαγών. Οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν είτε μία είτε πολλές εκφράσεις τις οποίες θέλουν να ανατικαταστήσουν. Οι εκφράσεις αυτές μπορούν να είναι οποιουδήποτε τύπου, όπως ονομαστικές, εκφράσεις μεταξύ μέσων κ.λπ.

- Άνοιγμα αναφερόμεων μερών

Αναφέρεται σε αυτοτελή εξαρτήματα ή μέρη ενός συνόλου, τα οποία αναφέρονται από εξωτερικά αρχεία ή πηγές και δεν περιλαμβάνονται, ούτε αποθηκεύονται απευθείας στο ίδιο αρχείο συναρμολόγησης, συνδέονται όμως με αυτό, μέσω παραπομπών ή συνδέσμων. Δημιουργούνται συνήθως ως ξεχωριστά αρχεία και μπορούν είτε να δημιουργηθούν στο ίδιο σύστημα CAD, είτε να εισαχθούν από εξωτερικές πηγές(πχ άλλο λογισμικό CAD). Διατηρώντας συνδέσμους σε εξωτερικά αρχεία, το συγκρότημα τμημάτων μπορεί να ενημερώνεται δυναμικά όταν γίνονται αλλαγές στα αναφερόμενα μέρη, διασφαλίζοντας την ακριβή αναπαράσταση του σχεδίου.

- Ενημέρωση / Εκσυγχρονισμός για εξωτερική αλλαγή

Στο NX Siemens, η δυνατότητα "Ενημέρωση για εξωτερική αλλαγή" επιτρέπει στους χρήστες να ενημερώνουν ένα αρχείο συναρμολόγησης ή τμήματος, όταν έχουν πραγματοποιηθεί αλλαγές σε εξωτερικές αναφορές, όπως παράδειγμα αποτελούν τα εξαρτήματα ή τα στοιχεία αναφοράς που έχουν τροποποιηθεί εκτός της τρέχουσας περιόδου λειτουργίας. Όταν συμβαίνουν εξωτερικές αλλαγές, η δυνατότητα αυτή διασφαλίζει ότι το συγκρότημα ή το αρχείο εξαρτημάτων αντικατοπτρίζει την ενημερωμένη γεωμετρία, τα χαρακτηριστικά ή τις συμπεριφορές των στοιχείων που αναφέρονται. Οι αλλαγές αυτές θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από άλλους χρήστες, από διαφορετικά συστήματα CAD, ή από την απευθείας τροποποίηση των εξωτερικών αρχείων.

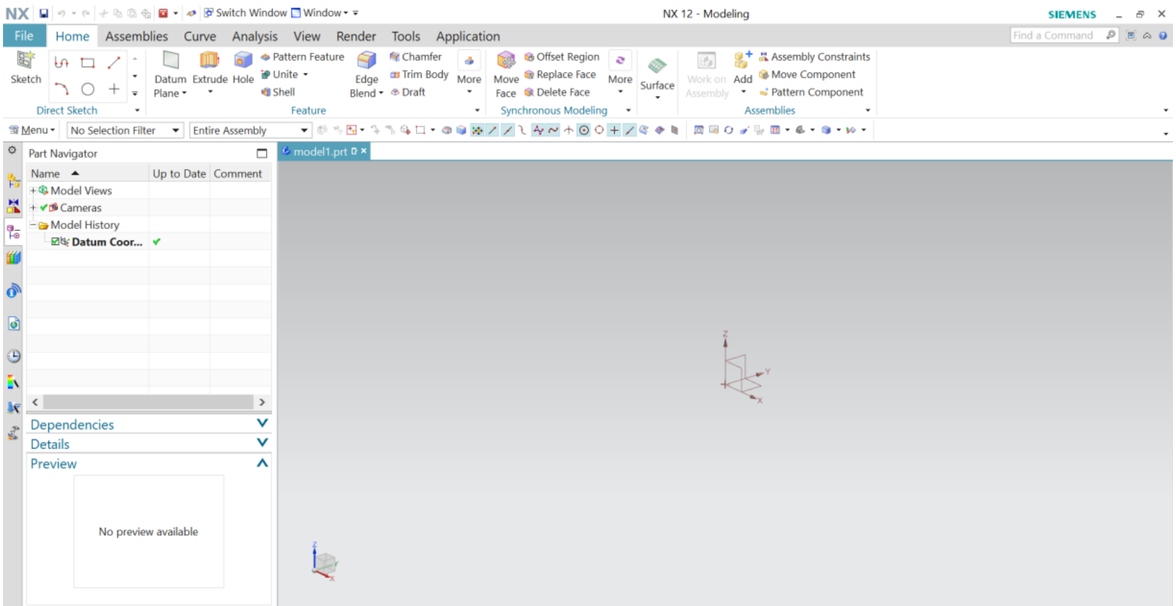
5. Παραδείγματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται παραδείγματα αυξανόμενης δυσκολίας, για την σχεδίαση γεωμετρικών σχημάτων και τη γρήγορη μετατροπή τους, με την χρήση του εργαλείου Expressions στο NX Siemens. Τα σχήματα που παρουσιάζονται διαφέρουν στη μορφή και την πολυπλοκότητά τους, με αποτέλεσμα τη διαφορετική χρήση του εργαλείου εκφράσεων, για τη σχεδίασή τους.

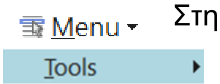
5.1 Κύκλος

Για την σχεδίαση του κύκλου, αλλά και τον γρήγορο προσδιορισμό και την μετατροπή των παραμέτρων του, χωρίς όμως τη χρήση του εργαλείου σχεδίασης κύκλου, παρουσιάζονται τα ακόλουθα βήματα με χρήση του εργαλείου Expressions.

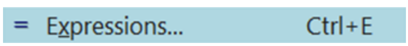
Εφόσον τεθεί σε λειτουργία το πρόγραμμα NX Siemens κι επιλεχθεί το άνοιγμα ενός μοντέλου, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, εμφανίζεται στον χρήστη η αρχική σελίδα σχεδίασης.



Σχήμα 5.1.1.: Περιβάλλον σχεδίασης NX



Στη συνέχεια, εφόσον ο χρήστην πλέον βρίσκεται στο σχεδιαστικό περιβάλλον του NX Siemens, πηγαίνοντας τον κέρσορα προς τα



αριστερά, ανοίγει την επιλογή του Menu, απ' όπου επιλέγει τα εργαλεία (Tools). Από την επιλογή αυτή, θα εμφανιστεί μια λίστα διαθέσιμων εργαλείων του προγράμματος, όπως έχει παρουσιαστεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Από την λίστα των εργαλείων επιλέγεται αυτό των εκφράσεων (Expressions) και αμέσως εμφανίζεται ένας πίνακας με σκοπό τη συμπλήρωση των παραμετρικών σχέσεων, για τον σωστό σχεδιασμό του ζητούμενου γεωμετρικού σχήματος.

Εφόσον εμφανιστεί ο ζητούμενος πίνακας, ξεκινάει η διαδικασία συμπλήρωσής του, όπως παρουσιάζεται σταδιακά και στη συνέχεια.

↑ Name	Formula	Value	Units	Dimensionali	Type	Source

Σχήμα 5.1.2. Πίνακας εκφράσεων

Αρχικά συμπληρώνεται η τιμή της ακτίνας και στη συνέχεια με το πλήκτρο Apply συνεχίζεται η συμπλήρωση του πίνακα, γραμμή προς γραμμή, με όλες τις απαραίτητες για το σχεδιασμό παραμέτρους, να εισέρχονται κατά σειρά, όπως απεικονίζεται και ακολούθως.

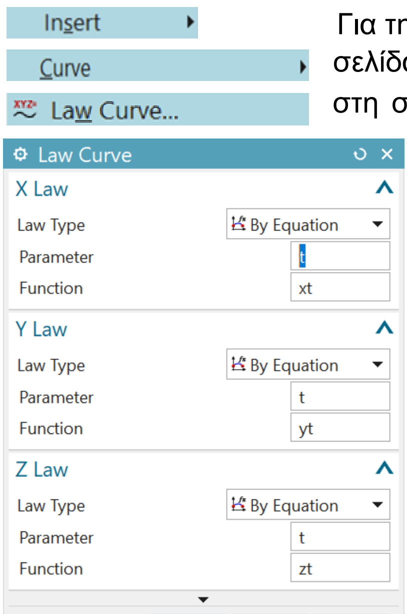
	↑ **Name**	Formula	Value	Units	Dimensionali	Type	Source
1	Default ...						
2				mm	Length	Number	
3	zt	0	0	mm	Length	Number	

Σχήμα 5.1.3. Συμπλήρωση παραμέτρων του πίνακα εκφράσεων

r	50	50	mm	Length	Number	
t	0	0	mm	Length	Number	
xt	r * cos(t*360)	50	mm	Length	Number	
yt	r * sin(t*360)	0	mm	Length	Number	
zt	0	0	mm	Length	Number	

Σχήμα 5.1.4. Συμπληρωμένος πίνακας εκφράσεων

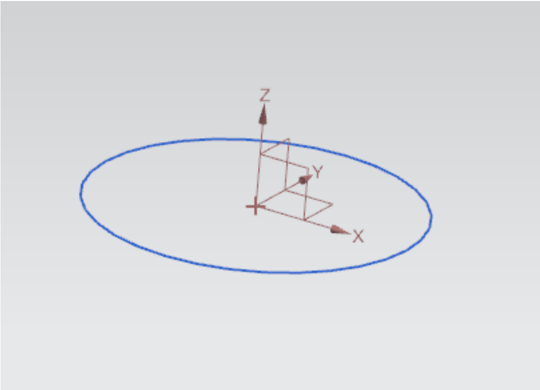
Αφού ο πίνακας του εργαλείου Expressions έχει συμπληρωθεί με τα απαραίτητα δεδομένα και παραμέτρους, στη συνέχεια απαιτείται για την εμφάνιση του τελικού σχήματος, η ενεργοποίηση των εντολών μέσα από το Law Curves.



Σχήμα 5.1.5. Πίνακας

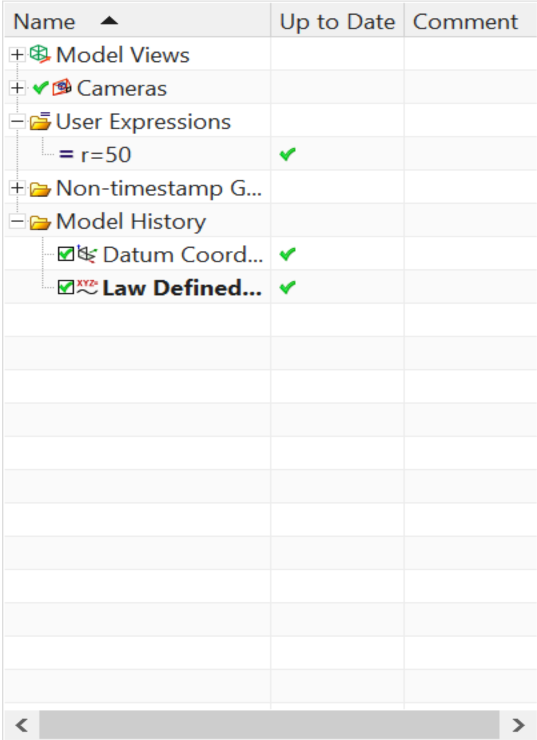
Για την εύρεση του Law Curves, γίνεται επιστροφή στην κεντρική σελίδα του NX, όπου αυτή την φορα επιλέγεται η εντολή Insert, στη συνέχεια η εντολή Curve ώστε να εμφανιστούν οι δυνατές καμπύλες, από τις οποίες θα επιλεχθούν οι Law Curves.

Με αυτόν τον τρόπο, εμφανίζεται στην αρχική ο παρουσιαζόμενος πίνακας, ο οποίος περιλαμβάνει τις παραμέτρους X, Y και Z της καμπύλης. Επιλέγοντας σε όλους τους τύπους παραμέτρων, εκείνον που γράφει ''By Equation'' και στη συνέχεια πατώντας το <OK>, οι παρέμετροι παίρνουν τιμές σύμφωνα με τον πίνακα, κι έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός κύκλου (στη συγκεκριμένη περίπτωση με ακτίνα 50), ο οποίος δημιουργήθηκε εξ' ολοκλήρου μέσω του εργαλείου Expressions του NX.



Εμφανιζόμενος κύκλος

Σχήμα 5.1.7. Επεξεργασία παραμέτρων

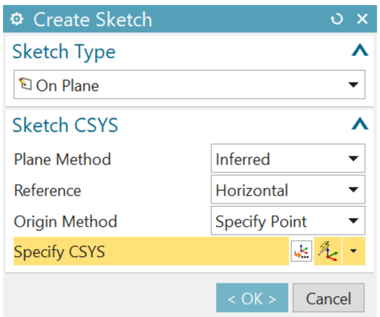


Σχήμα 5.1.6. Λεπτομέρειες σχήματος

Στη συνέχεια, όπως παρουσιάζεται και από πάνω, εμφανίζεται ο κύκλος στο περιβάλλον εργασίας του NX, αλλά ταυτόχρονα δεξιά μπορούν να εντοπιστούν οι λεπτομέρειες του σχήματος, καθώς και οι επεξεργασίες στις οποίες έχει εισέλθει. Παρατηρώντας την επιλογή ''User Expressions'' και επιλέγοντάς την, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κάνει γρήγορες αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων, όπως φαίνεται στο παράδειγμα, όπου η ακτίνα από 50, πήρε την τιμή 200, με αποτέλεσμα την άμεση μετατροπή του κύκλου.

5.2 Έλλειψη

Ακολουθώντας τα ίδια βήματα με πριν, για το σχεδιασμό έλλειψης με χρήση του εργαλείου Expressions στο NX Siemens, επιλέγεται αρχικά η λειτουργία Sketch, η οποία είναι τοποθετημένη στο πάνω αριστερό μέρος στο περιβάλλον εργασίας. Στη συνέχεια, αφού ανοίγει το παράθυρο Creatre Sketch, πατείται το κουμπί <OK> και ανοίγει το αρχικό περιβάλλον σχεδίασης του NX.



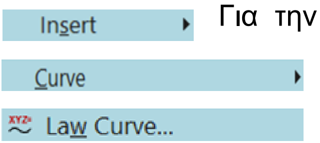
Σχήμα 5.2.1. Παράθυρο Create Sketch

Στη συνέχεια, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με πριν, και ανοίγεται το παράθυρο των εκφράσεων (Expressions) του προγράμματος. Συμπληρώνεται αρχικά ο πίνακας των εκφράσεων, σύμφωνα με τις μαθηματικές εξισώσεις της κάθε παραμέτρου του σχήματος.

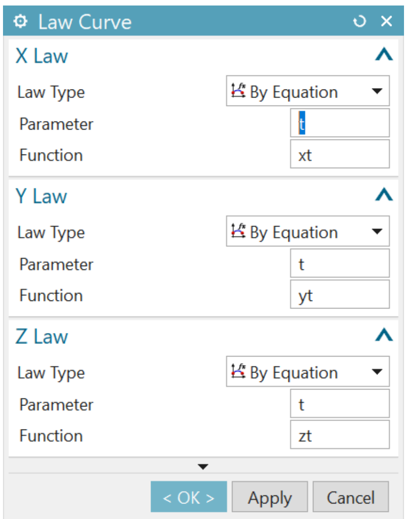
	↑ Name	Formula	Value	Units	Dimensiona	Type	Source	Status	Comm
1	Default ...								
2				mm	Length	Number			
3	a	50	50	mm	Length	Number			
4	b	80	80	mm	Length	Number			
5	t	10	10	mm	Length	Number			
6	xt	a*cos(t*360)	50		Unitless	Number			
7	yt	b*sin(t*360)	-4.174982...		Unitless	Number			
8	zt	0	0		Unitless	Number			

Σχήμα 5.2.2. Πίνακας εργαλείου Expressions

Έπειτα, αφού ο πίνακας του εργαλείου Expressions έχει συμπληρωθεί με τα απαραίτητα δεδομένα, απαιτείται για την εμφάνιση του τελικού σχήματος, η ενεργοποίηση των εντολών μέσα από την εντολή Law Curves.

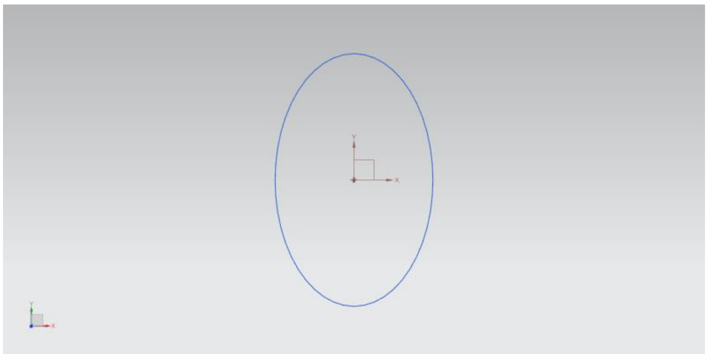


Για την εύρεση του Law Curves, ακολουθούνται τα ίδια βήματα που πραγματοποιήθηκαν και στον σχεδιασμό του κύκλου. Δηλαδή, γίνεται επιστροφή στην κεντρική σελίδα του NX, όπου επιλέγεται η εντολή Insert, στη συνέχεια η εντολή Curve ώστε να εμφανιστούν οι διαθέσιμες καμπύλες, από τις οποίες θα επιλεχθούν οι Law Curves.



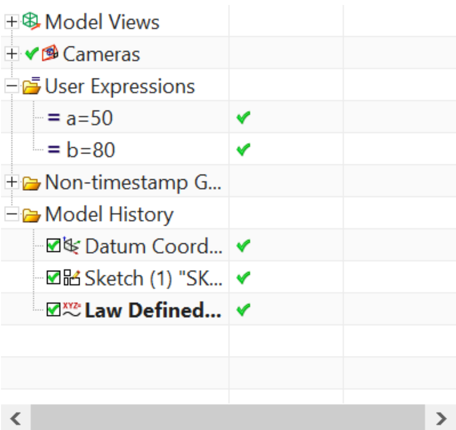
Σχήμα 5.2.3. Πίνακας Law Curve

Με αυτόν τον τρόπο, εμφανίζεται στην αρχική ο παρουσιαζόμενος πίνακας, ο οποίος περιλαμβάνει τις παραμέτρους X, Y και Z της καμπύλης. Επιλέγοντας σε όλους τους τύπους παραμέτρων, εκείνον που γράφει ''By Equation'' και στη συνέχεια πατώντας το <OK>, οι παράμετροι παίρνουν τιμές σύμφωνα με τον πίνακα, κι έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας έλλειψης (στη συγκεκριμένη περίπτωση με μικρή ακτίνα 50 και μεγάλη 80), ο οποίος δημιουργήθηκε εξ' ολοκλήρου μέσω του εργαλείου Expressions του NX.

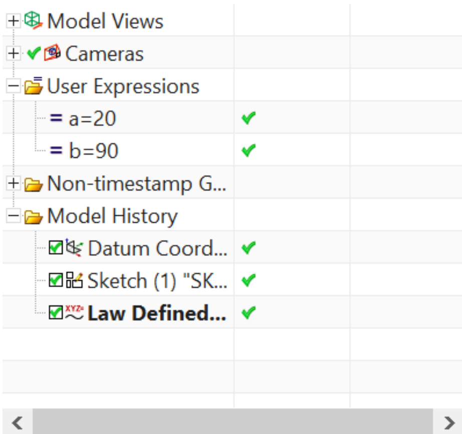


Σχήμα 5.2.4. Εμφανιζόμενη έλλειψη

Στη συνέχεια, όπως παρουσιάζεται και παρακάτω, εμφανίζεται η έλλειψη στο περιβάλλον εργασίας του NX, αλλά ταυτόχρονα αριστερά μπορούν να εντοπιστούν οι λεπτομέρειες του σχήματος, καθώς και οι επεξεργασίες στις οποίες έχει εισέλθει.

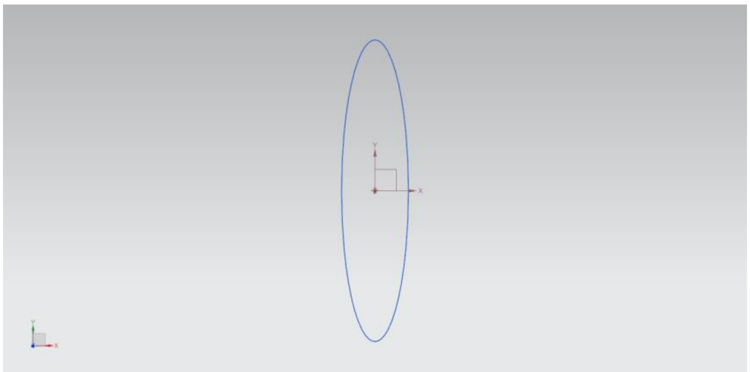


Σχήμα 5.2.5 Λεπτομέρειες σχήματος



Σχήμα 5.2.6. Μετατροπή τιμών παραμέτρων

Παρατηρώντας την επιλογή ''User Expressions'' και επιλέγοντάς την, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κάνει γρήγορες αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων, όπως φαίνεται στο παράδειγμα, όπου η μικρή ακτίνα από 50, πήρε την τιμή 20, καθώς και η μεγάλη από την τιμή 80 πήρε την τιμή 90, με αποτέλεσμα την άμεση μετατροπή του σχήματος στο περιβάλλον σχεδιασμού.



Σχήμα 5.2.7. Νέο σχήμα

5.3 Παραβολή

Για την σχεδίαση κωνικών τομών, και πιο συγκεκριμένα της παραβολής, αλλά και τον γρήγορο προσδιορισμό και την μετατροπή των παραμέτρων της, χωρίς όμως τη χρήση του εργαλείου σχεδίασης, παρουσιάζονται τα ακόλουθα βήματα με χρήση του εργαλείου Expressions.

Εφόσον τεθεί σε λειτουργία το πρόγραμμα NX Siemens κι επιλεχθεί το άνοιγμα ενός μοντέλου, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, εμφανίζεται στον χρήστη η αρχική σελίδα σχεδίασης.

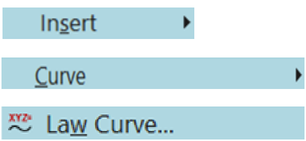
Στη συνέχεια, εφόσον ο χρήστην πλέον βρίσκεται στο σχεδιαστικό περιβάλλον του NX Siemens, πηγαίνοντας τον κέρσορα προς τα αριστερά, ανοίγει την επιλογή του Menu, απ' όπου επιλέγει τα εργαλεία (Tools). Από την επιλογή αυτή, θα εμφανιστεί μια λίστα διαθέσιμων εργαλείων του προγράμματος, όπως έχει παρουσιαστεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Από την λίστα των εργαλείων επιλέγεται αυτό των εκφράσεων (Expressions) και αμέσως εμφανίζεται ένας πίνακας με σκοπό τη συμπλήρωση των παραμετρικών σχέσεων, για τον σωστό σχεδιασμό του ζητούμενου γεωμετρικού σχήματος.

Εφόσον εμφανιστεί ο ζητούμενος πίνακας, ξεκινάει η διαδικασία συμπλήρωσής του. Στη συνέχεια, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με πριν, και ανοίγεται το παράθυρο των εκφράσεων (Expressions) του προγράμματος. Συμπληρώνεται αρχικά ο πίνακας των εκφράσεων, σύμφωνα με τις μαθηματικές εξισώσεις της κάθε παραμέτρου του σχήματος.

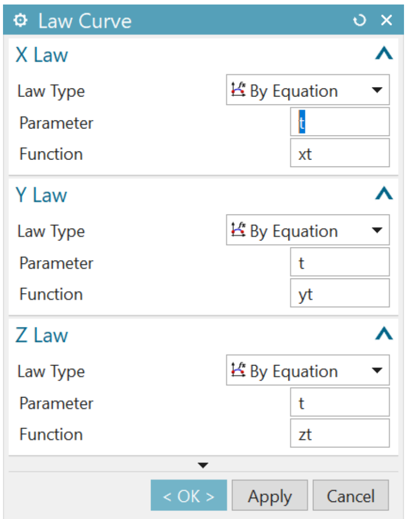
	↑ Name	Formula	Value	Units	Dimensionalit	Type	Source	Status	Comm
1	Default ...								
2				mm	Length	Number			
3	f	10	10	mm	Length	Number			
4	t	1	1	mm	Length	Number	(Law Defin...		
5	xt	t	1	mm	Length	Number	(Law Defin...		
6	yt	0	0	mm	Length	Number	(Law Defin...		
7	zt	(t*t)/(4*f)	0.025	mm	Length	Number	(Law Defin...		

Σχήμα 5.3.3. Πίνακας εργαλείου Expressions

Έπειτα, αφού ο πίνακας του εργαλείου Expressions έχει συμπληρωθεί με τα απαραίτητα δεδομένα, απαιτείται για την εμφάνιση του τελικού σχήματος, η ενεργοποίηση των εντολών μέσα από την εντολή Law Curves.

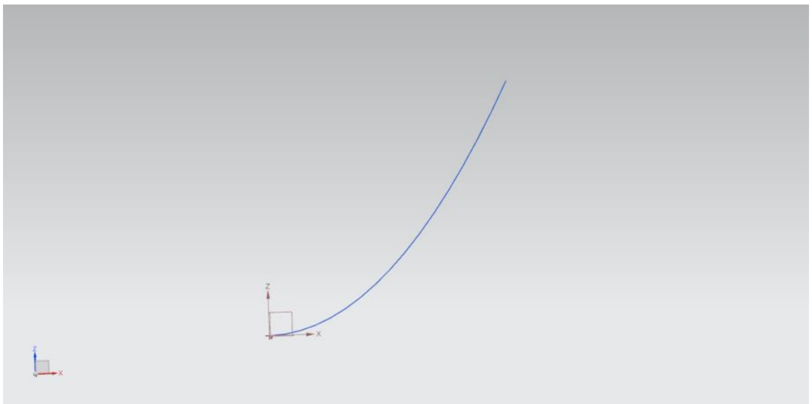


Για την εύρεση του Law Curves, ακολουθούνται τα ίδια βήματα που πραγματοποιήθηκαν και στον σχεδιασμό του κύκλου. Δηλαδή, γίνεται επιστροφή στην κεντρική σελίδα του NX, όπου επιλέγεται η εντολή Insert, στη συνέχεια η εντολή Curve ώστε να εμφανιστούν οι διαθέσιμες καμπύλες, από τις οποίες θα επιλεχθούν οι Law Curves.



Σχήμα 5.3.2. Πίνακας Law Curve

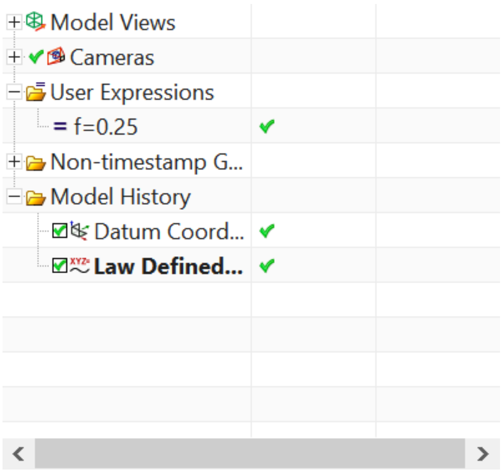
Με αυτόν τον τρόπο, εμφανίζεται στην αρχική ο παρουσιαζόμενος πίνακας, ο οποίος περιλαμβάνει τις παραμέτρους X, Y και Z της καμπύλης. Επιλέγοντας σε όλους τους τύπους παραμέτρων, εκείνον που γράφει ''By Equation'' και στη συνέχεια πατώντας το <OK>, οι παρέμετροι παίρνουν τιμές σύμφωνα με τον πίνακα, κι έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας υπερβολής (στη συγκεκριμένη περίπτωση με), η οποία δημιουργήθηκε εξ' ολοκλήρου μέσω του εργαλείου Expressions του NX.



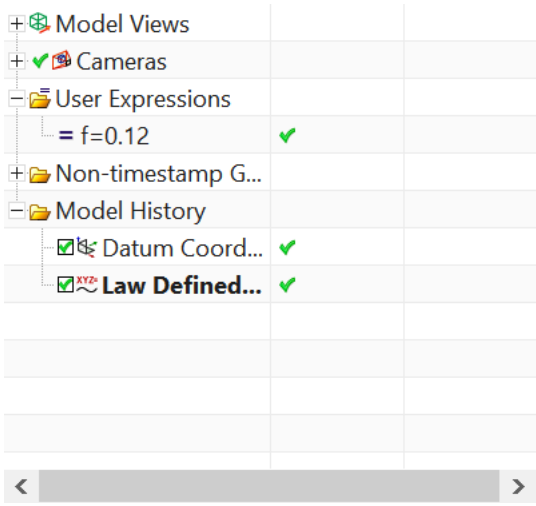
Σχήμα 5.3.3. Παραβολή στο περιβάλλον

Στη συνέχεια, όπως παρουσιάζεται, εμφανίζεται η παραβολή στο περιβάλλον εργασίας του NX, αλλά ταυτόχρονα εντοπίζεται στήλη που περιλαμβάνει τις λεπτομέρειες του σχήματος, καθώς και οι επεξεργασίες στις οποίες έχει εισέλθει.

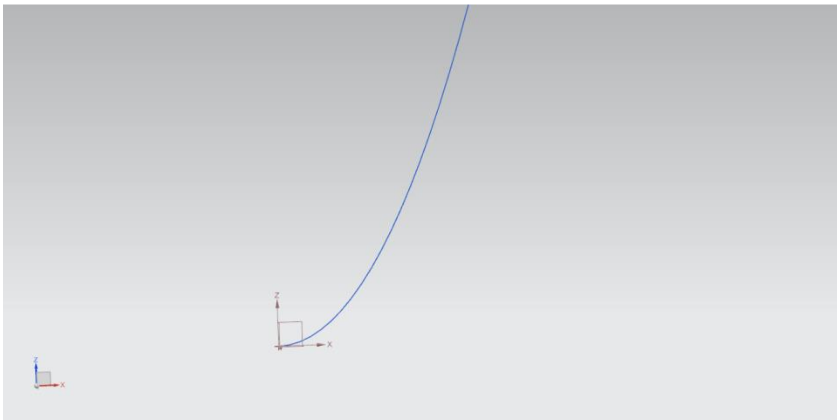
Τέλος, με την επιλογή ‘’User Expressions’’, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κάνει γρήγορες αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων, όπως φαίνεται στο παράδειγμα, όπου, αλλάζοντας την παράμετρο f του σχήματος, δίνεται ως αποτέλεσμα ήμεση μετατροπή του σχήματος στο περιβάλλον σχεδιασμού, δηλαδή η αλλαγή της κλίσης της παραβολής.



Σχήμα 5.3.4 Λεπτομέρειες σχήματος



Σχήμα 5.3.5. Μετατροπή τιμών παραμέτρων



Σχήμα 5.3.6. Νέο σχήμα

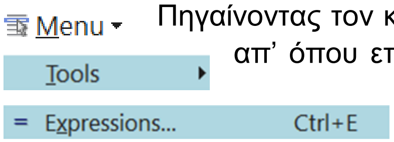
Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, γίνεται η χρήση του εργαλείου εκφράσεων (Expressions) για σχεδίαση από το μηδέν (from scratch). Συνήθως επιλέγεται αυτός ο τρόπος σχεδίασης λόγω της ευκολίας και της άμεσης μετατροπής στο περιβάλλον εργασίας και σχεδιασμού.

5.4 Καμπύλη Ferguson

Στον σχεδιασμό πιο σύνθετων καμπυλών, όπως μιας καμπύλης Ferguson, το εργαλείο Expressions του NX χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των πόλων της καμπύλης (σημεία ελέγχου), καθώς και τη γρήγορη επεξεργασία τους μαζί με την άμεση μετατροπή του σχήματος στο περιβάλλον σχεδίασης του NX.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τα προηγούμενα παραδείγματα, όπου για τον σχεδιασμό, πρώτα ανοίγεται το περιβάλλον του λογισμικού NX, και στη συνέχεια επιλέγεται η δημιουργία μοντέλου, πατώντας το πλήκτρο <OK>.

Εφόσον ο χρήστης βρίσκεται μέσα στο σχεδιαστικό περιβάλλον, ορίζει ως παραμέτρους τα ζητούμενα σημεία ελέγχου της καμπύλης. Για την καμπύλη Ferguson, ο αριθμός των σημείων ελέγχου είναι 4, σύμφωνα με τον ορισμό της παραμετρικής αναπαράστασης της καμπύλης. Τα σημεία ονομάζονται P_0, P_1, P'_0, P'_1, όπου P_0 και P_1 τα ακραία σημεία της καμπύλης με P_0 το αρχικό και P_1 το τελικό.



Πηγαίνοντας τον κέρσορα προς τα αριστερά, ανοίγεται η επιλογή του Menu, απ’ όπου επιλέγονται τα εργαλεία (Tools). Από την επιλογή αυτή, θα εμφανιστεί μια λίστα διαθέσιμων εργαλείων του προγράμματος, όπως έχει παρουσιαστεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Από την λίστα των εργαλείων επιλέγεται αυτό των εκφράσεων (Expressions) και αμέσως εμφανίζεται ένας πίνακας με σκοπό τη συμπλήρωση των παραμετρικών σχέσεων, για τον σωστό σχεδιασμό του ζητούμενου γεωμετρικού σχήματος.

Ξεκινάει η συμπλήρωση του πίνακα των εκφράσεων με τον ορισμό των σημείων ελέγχου του παρουσιαζόμενου παραδείγματος. Τα σημεία ορίζονται σύμφωνα με τους άξονες x,y,z, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

P0_X	0	0	mm	Length	Number
P0_Y	0	0	mm	Length	Number
P0_Z	0	0	mm	Length	Number

Σχήμα 5.4.1. Συμπλήρωση παραμέτρων σημείου ελέγχου P_0

Εφόσον έχουν συμπληρωθεί οι παράμετροι για το πρώτο (αρχικό) ακραίο σημείο, συνεχίζεται η συμπλήρωση του πίνακα, έως ότου χαρακτηριστούν παραμετρικά και τα τέσσερα σημεία ελέγχου της καμπύλης. Στον πίνακα προστίθεται ακόμα μια παράμετρος, η παράμετρος u, βασιζόμενη στην μαθηματική εξίσωση της παραμετρικής αναπαράστασης της καμπύλης Ferguson.

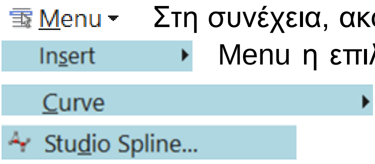
	↑ Name	Formula	Value	Units	Dimensionali	Type	Sourc
2				mm	Length	Number	
3	P0'_X	2	2	mm	Length	Number	
4	P0'_Y	15	15	mm	Length	Number	
5	P0'_Z	0	0	mm	Length	Number	
6	P0_X	0	0	mm	Length	Number	
7	P0_Y	0	0	mm	Length	Number	
8	P0_Z	0	0	mm	Length	Number	
9	P1'_x	15	15	mm	Length	Number	
10	P1'_y	-20	-20	mm	Length	Number	
11	P1'_z	0	0	mm	Length	Number	
12	P1_X	10	10	mm	Length	Number	
13	P1_Y	20	20	mm	Length	Number	
14	P1_Z	0	0	mm	Length	Number	
15	u	0.7	0.7		Unitless	Number	

Σχήμα 5.4.2. Συμπληρωμένος πίνακας Expressions

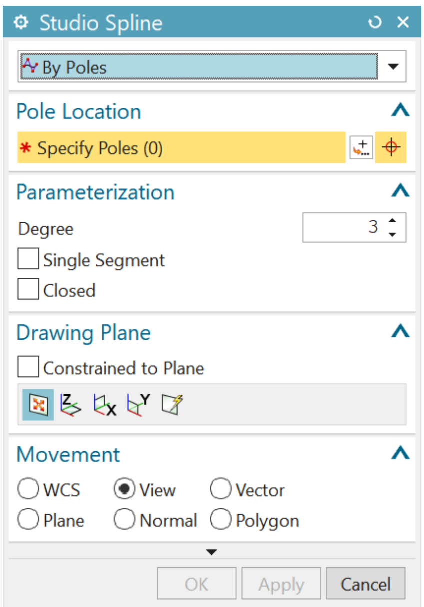
Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονισθεί, ότι στην παράμετρο u, στη στήλη Dimensionality, πρέπει να γίνει επιλογή του Unitless, καθώς το u εκφράζει αριθμό, και χωρίς την μετατροπή του, στις μετέπειτα μαθηματικές εξισώσεις θα προκύψει σφάλμα λόγω της πράξης Length*Length, όπου έχει ως αποτέλεσμα επιφάνεια.

u	0.7	0.7		Unitless	Number

Σχήμα 5.4.3. Γραμμή της παραμέτρου u



Στη συνέχεια, ακολουθώντας τις ίδιες οδηγίες με πριν, επιλέγεται μέσα από το Menu η επιλογή των καμπυλών, όπου ο χρήστης ζητείται να επιλέξει το Studio Spline, όπου εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο.

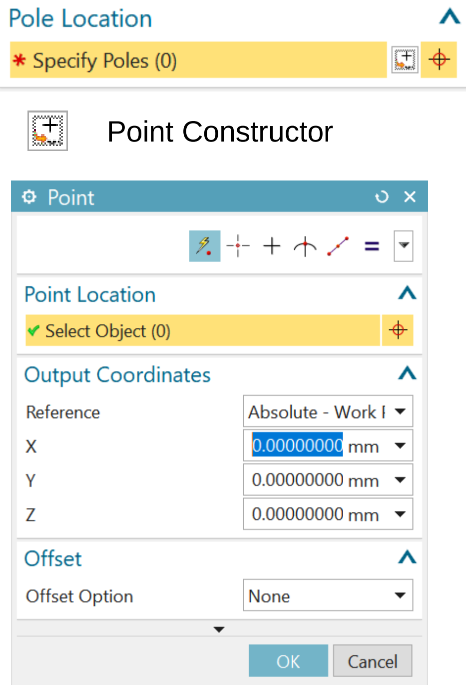


Σχήμα 5.4.4. Παράθυρο Studio Spline

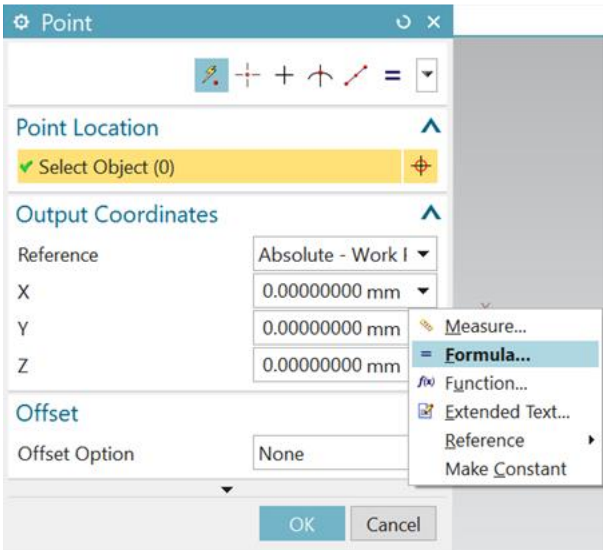
Στο παράθυρο που εμφανίζεται, ο χρήστης αρχικά επιλέγει η καμπύλη να ορίζεται από σημεία ή από πόλους (σημεία ελέγχου). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέγονται οι πόλοι. 

Στη συνέχεια, στο κουτί του Parameterization, επιλέγεται ο βαθμός της καμπύλης Ferguson. Ο βαθμός της καμπύλης είναι 3, εφόσον χαρακτηρίζεται από 4 σημεία ελέγχου / πόλους.

Για τον ορισμό των σημείων της καμπύλης, ο χρήστης παραμένει στο ίδιο παράθυρο, αλλά επιστρέφει στην επιλογή Pole location, όπου επιλέγει το Point Constructor.



Σχήμα 5.4.5. Παράθυρο Point

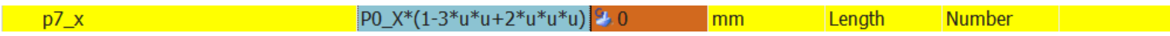


Σχήμα 5.4.6. Προσδιορισμός παραμέτρων σημείου

Αφού επιλεχθεί το Point Constructor, εμφανίζεται στο περιβάλλον εργασίας το παράθυρο Point. Σε αυτό το σημείο, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τον τρόπο καθορισμού των συντεταγμένων x,y,z του κάθε σημείου ελέγχου.

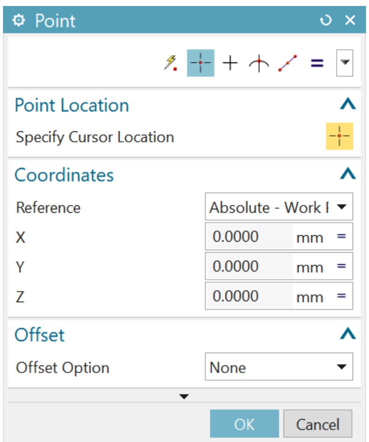
Όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 5.4.6., για τον προσδιορισμό των παραμέτρων ενός σημείου, επιλέγεται η παράμετρος x,y,z αντίστοιχα, και στη συνέχεια η επιλογή Formula. Με αυτόν τον τρόπο, παρουσιάζεται στον χρήστη ο πίνακας των εκφράσεων (Expressions) και ζητείται η συμπλήρωση των τιμών για την κάθε παράμετρο.

Η παράμετρος X του πρώτου σημείου ελέγχου, σύμφωνα με τη μαθηματική εξίσωση και το σημείο P_0 που ορίστηκε ως αρχικό ακραίο σημείο συμπληρώνεται ως εξής:



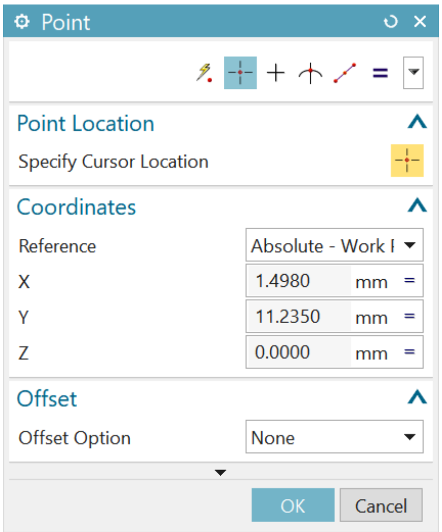
Σχήμα 5.4.7. Συμπλήρωση X παραμέτρου για το P_0

Στην συνέχεια, συμπληρώνεται ο πίνακας και για τις παραμέτρους Y,Z με αντίστοιχο τρόπο, και τα νέα δεδομένα της καμπύλης για το σημείο P_0 είναι:



Σχήμα 5.4.8. Νέο παράθυρο Point

Σχήμα 5.4.9 Συμπληρωμένος πίνακας εκφράσεων για P_0



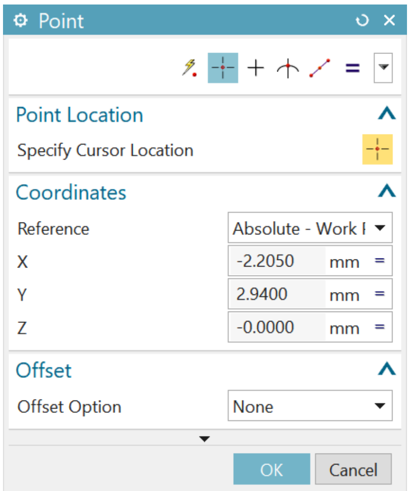
Ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τον πόλο (σημείο ελέγχου) P'_0, όπου συμπληρώνεται εκ νέου το πινακάκι των εκφράσεων (Expressions) για τις παραμέτρους X,Y,Z του ενδιάμεσου σημείου. Στη συνέχεια, αφού πατηθεί το πλήκτρο <OK> παρουσιάζονται οι νέες τιμές των παραμέτρων του P'_0 στο παράθυρο Point, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.4.9.

Σχήμα 5.4.9. Νέο παράθυρο Point

Η διαδικασία συνεχίζεται για το ενδιάμεσο σημείο ελέγχου P'_1, όπου σύμφωνα με τη μαθηματική εξίσωση και το σημείο P'_1, η παράμετρος X συμπληρώνεται ως εξής:

p7_x	P1'_x*(-u*u+u*u*u)	-2.205	mm	Length	Number	

Σχήμα 5.4.10. Συμπλήρωση X παραμέτρου για το P'_1



Στη συνέχεια, συμπληρώνεται με τον ίδιο τρόπο ο πίνακας και για τις παραμέτρους Y και Z του σημείου P'_1, με αποτέλεσμα το νέο παράθυρο Point για το P'_1.

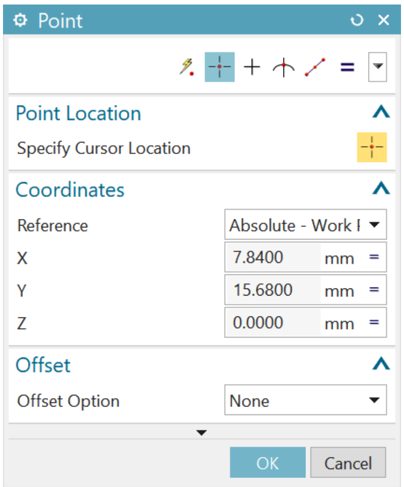
Παρατηρείται ότι οι τιμές των παραμέτρων X,Y,Z έχουν μετατραπεί σύμφωνα με τις αρχικές τιμές οι οποίες δόθηκαν στα P_0, P_1, P'_0, P'_1.

Σχήμα 5.4.11. Νέο παράθυρο Point

Με τον ίδιο τρόπο συμπληρώνεται ο πίνακας και για το τελευταίο σημείο ελέγχου της καμπύλης, το τελικό ακραίο σημείο P_1. Σύμφωνα με τη μαθηματική εξίσωση αλλά και την δοσμένη τιμή του σημείου, συμπληρώνεται αρχικά η γραμμή της παραμέτρου X του πόλου.

p7_x	P1_X*(3*u*u-2*u*u*u)	7.84	mm	Length	Number	

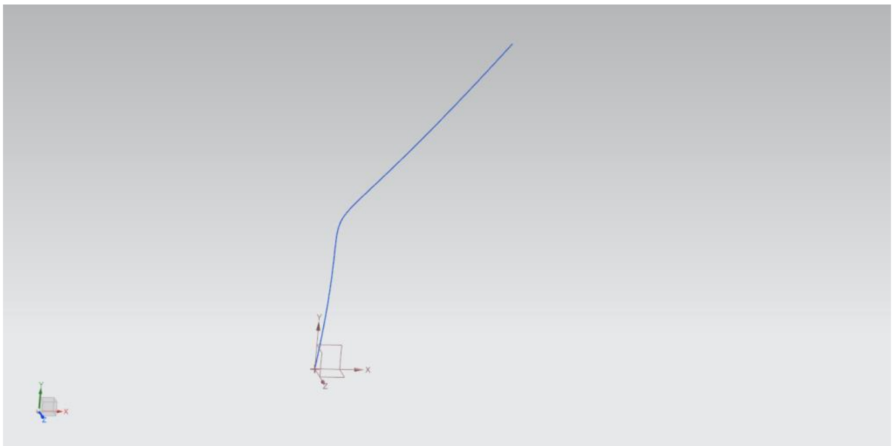
Σχήμα 5.4.12. Συμπλήρωση X παραμέτρου για το P_1



Στο Σχήμα 5.4.13. παρουσιάζεται το νέο παράθυρο Point του σημείου P_1 για τους άξονες X,Y,Z σύμφωνα με την μαθηματική σχέση που φαίνεται στον πίνακα στο Σχήμα 5.4.12. Εφόσον επιλεχθεί το κουμπί <OK> σημαίνει ότι έχει ολοκληρωθεί η συμπλήρωση των απαιτούμενων παραμέτρων των σημείων που είναι απαραίτητα για το σχεδιασμό της καμπύλης Ferguson.

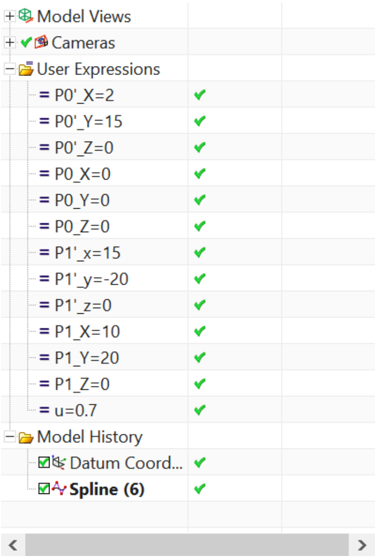
Σχήμα 5.4.13. Νέο παράθυρο Point

Εφόσον η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί, γίνεται επιστροφή του χρήστη στο περιβάλλον σχεδιασμού, με ενεργοποιημένη την εντολή της καμπύλης Studio Spline, όπου εμφανίζεται η ζητούμενη καμπύλη, όπως παρατηρείται στο Σχήμα 5.4.14.

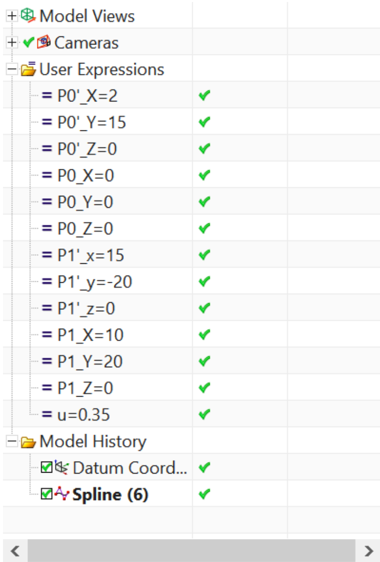


Σχήμα 5.4.14. Καμπύλη Ferguson στο περιβάλλον NX

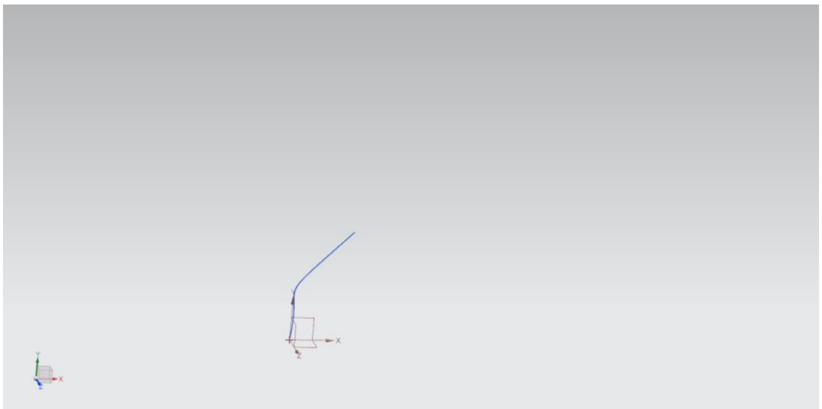
Αριστερά από το περιβάλλον σχεδιασμού, εντοπίζονται οι λεπτομέρειες της καμπύλης, επιτρέποντας στον χρήστη τη γρήγορη μετατροπή των τιμών των παραμέτρων της, και ταυτόχρονα, την άμεση μετατροπή της.



Σχήμα 5.4.15. Λεπτομέρειες καμπύλης Ferguson

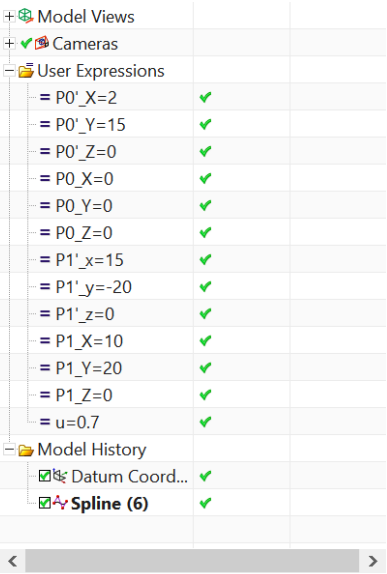


Σχήμα 5.4.16. Αλλαγή τιμής u

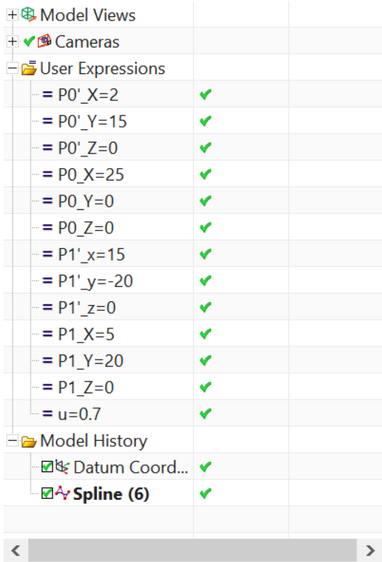


Σχήμα 5.4.17. Νέα καμπύλη Ferguson στο περιβάλλον NX

Με την μεταβολή μόνο της τιμής της παραμέτρου u, παρατηρείται η μετατροπή της αρχικής καμπύλης, στην καμπύλη του σχήματος 5.4.17.

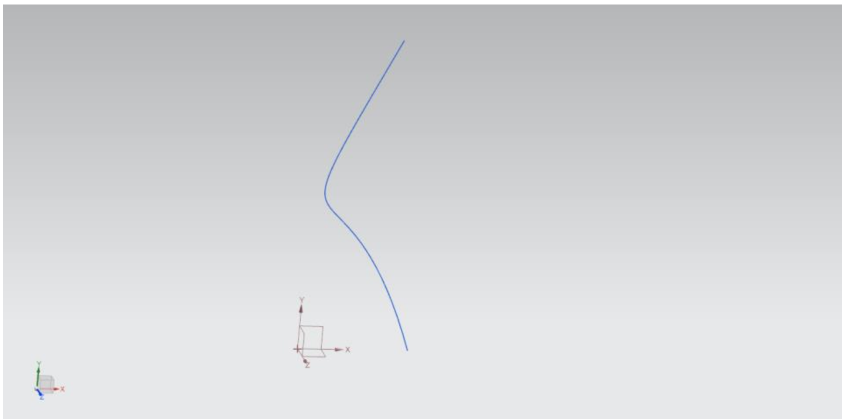


Σχήμα 5.4.18. Λεπτομέρειες καμπύλης Ferguson



Σχήμα 5.4.19. Αλλαγή τιμών

Στη συνέχεια, επιλέγονται πάλι οι αρχικές λεπτομέρειες της καμπύλης Ferguson, αλλά αυτή τη φορά γίνεται μεταβολή στις τιμές των παραμέτρων των ακραίων σημείων ελέγχου της καμπύλης. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μεταβολή της παραμέτρου του άξονα X στην τιμή του αρχικού πόλου P_0 της καμπύλης από 0 σε 25. Ακόμη, παρατηρείται αλλαγή στον τελικό πόλο P_1 της καμπύλης, και πιο συγκεκριμένα μεταβολή της τιμής από 10 σε 5 στην παράμετρο X του σημείου ελέγχου. Το αποτέλεσμα που δίνεται παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4.20.



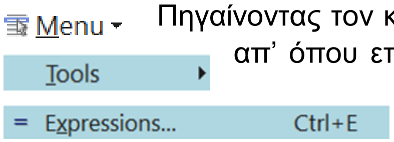
Σχήμα 5.4.20. Νέα καμπύλη Ferguson στο περιβάλλον NX

5.5 Καμπύλη Bezier

Για το σχεδιασμό μιας καμπύλης Bezier, το εργαλείο Expressions του NX χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των πόλων της καμπύλης (σημεία ελέγχου), καθώς και τη γρήγορη επεξεργασία τους μαζί με την άμεση μετατροπή του σχήματος στο περιβάλλον σχεδίασης του NX.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τα προηγούμενα παραδείγματα, όπου για τον σχεδιασμό, πρώτα ανοίγεται το περιβάλλον του λογισμικού NX, και στη συνέχεια επιλέγεται η δημιουργία μοντέλου, πατώντας το πλήκτρο <OK>.

Εφόσον ο χρήστης βρίσκεται μέσα στο σχεδιαστικό περιβάλλον, ορίζει ως παραμέτρους τα ζητούμενα σημεία ελέγχου της καμπύλης. Για την καμπύλη Bezier, ο αριθμός των σημείων ελέγχου εξαρτάται από τον βαθμό της καμπύλης. Για τον σχεδιασμό καμπύλης n βαθμού, τα σημεία ελέγχου είναι n+1. Στο ακόλουθο παράδειγμα παρουσιάζεται ο σχεδιασμός μια καμπύλης Bezier τρίτου βαθμού, δηλαδή με 4 σημεία ελέγχου, χρησιμοποιώντας το εργαλείο Expressions για τον ορισμό τους.



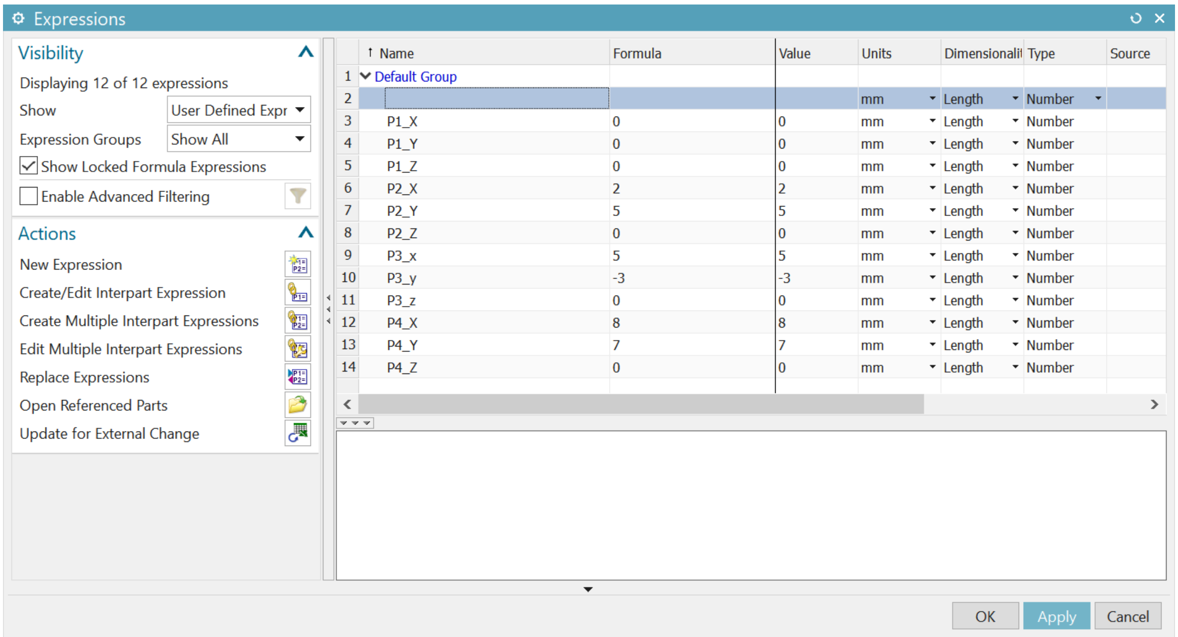
Πηγαίνοντας τον κέρσορα προς τα αριστερά, ανοίγεται η επιλογή του Menu, απ' όπου επιλέγονται τα εργαλεία (Tools). Από την επιλογή αυτή, θα εμφανιστεί μια λίστα διαθέσιμων εργαλείων του προγράμματος, όπως έχει παρουσιαστεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Από την λίστα των εργαλείων επιλέγεται αυτό των εκφράσεων (Expressions) και αμέσως εμφανίζεται ένας πίνακας με σκοπό τη συμπλήρωση των παραμετρικών σχέσεων, για τον σωστό σχεδιασμό του ζητούμενου γεωμετρικού σχήματος.

Ξεκινάει η συμπλήρωση του πίνακα των εκφράσεων με τον ορισμό των σημείων ελέγχου του παρουσιαζόμενου παραδείγματος. Τα σημεία ορίζονται σύμφωνα με τους άξονες x,y,z, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

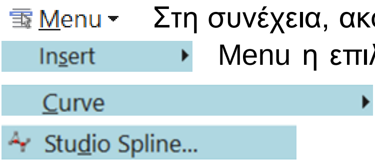
P1_X	0	0	mm	Length	Number
P1_Y	0	0	mm	Length	Number
P1_Z	0	0	mm	Length	Number

Σχήμα 5.5.1. Συμπλήρωση παραμέτρων πρώτου σημείου ελέγχου

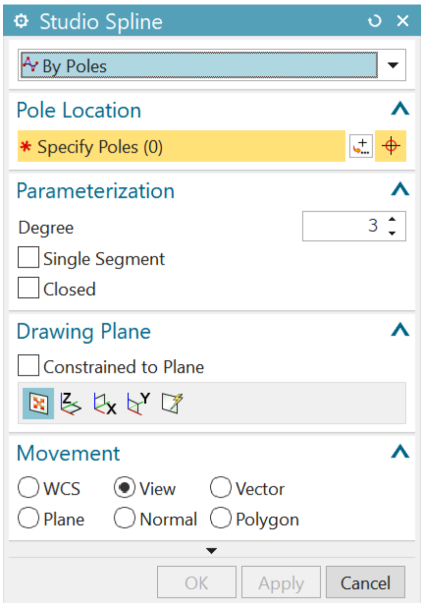
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, συμπληρώνεται όλος ο πίνακας με τις απαραίτητες τιμές και δεδομένα για τα 4 σημεία ελέγχου της καμπύλης.



Σχήμα 5.5.2. Συμπληρωμένος πίνακας Expressions



Στη συνέχεια, ακολουθώντας τις ίδιες οδηγίες με πριν, επιλέγεται μέσα από το Menu η επιλογή των καμπυλών, όπου ο χρήστης ζητείται να επιλέξει το Studio Spline, όπου εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο.



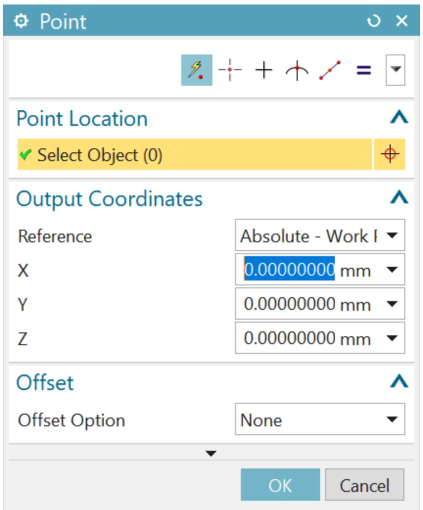
Σχήμα 5.5.3. Παράθυρο Studio Spline

Στο παράθυρο που εμφανίζεται, ο χρήστης αρχικά επιλέγει η καμπύλη να ορίζεται από σημεία ή από πόλους (σημεία ελέγχου). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέγονται οι πόλοι.

Στη συνέχεια, στο κουτί του Parameterization, επιλέγεται ο βαθμός της καμπύλης Bezier που θα σχεδιαστεί (Degree). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο βαθμός της καμπύλης είναι 3.

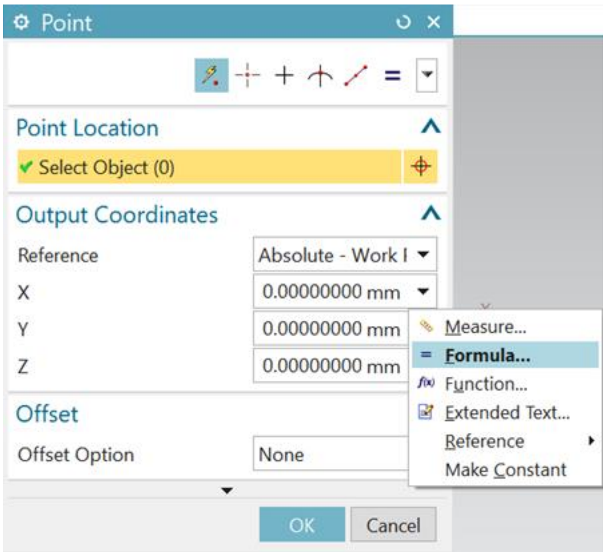
Για τον ορισμό των σημείων της καμπύλης, ο χρήστης παραμένει στο ίδιο παράθυρο, αλλά επιστρέφει στην επιλογή Pole location, όπου επιλέγει το Point Constructor.

Point Constructor



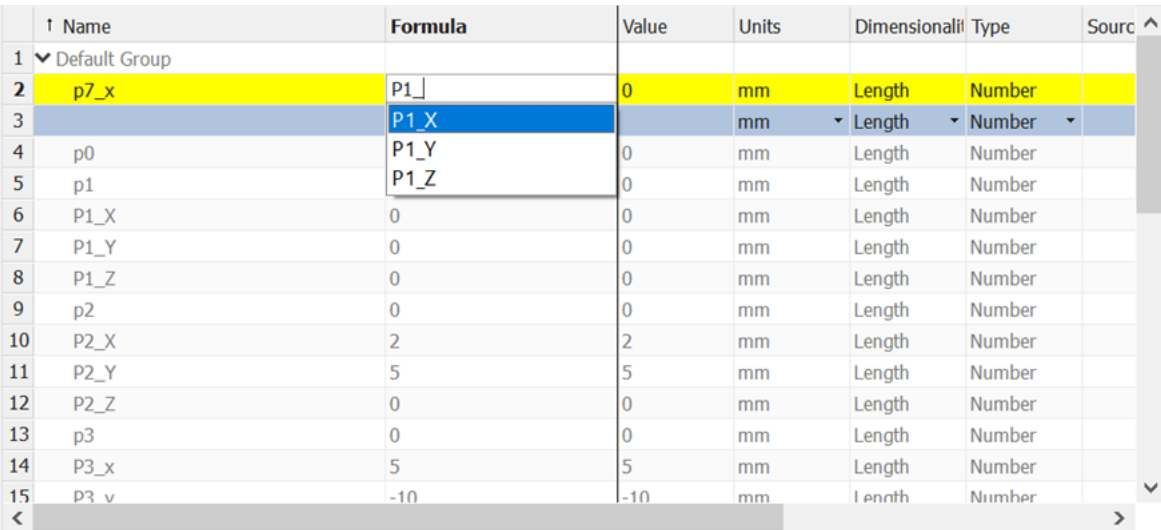
Σχήμα 5.5.4. Παράθυρο Point

Αφού επιλεχθεί το Point Constructor, εμφανίζεται στο περιβάλλον εργασίας το παράθυρο Point. Σε αυτό το σημείο, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τον τρόπο καθορισμού των συντεταγμένων x,y,z του κάθε σημείου ελέγχου.



Σχήμα 5.5.5. Προσδιορισμός παραμέτρων σημείου

Όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 5.5.5., για τον προσδιορισμό των παραμέτρων ενός σημείου, επιλέγεται η παράμετρος x,y,z αντίστοιχα, και στη συνέχεια η επιλογή Formula. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης βρίσκεται σε ένα περιβάλλον εργασίας, όπου παρουσιάζεται ο πίνακας των εκφράσεων (Expressions) και ζητείται η συμπλήρωση των τιμών για την κάθε παράμετρο.

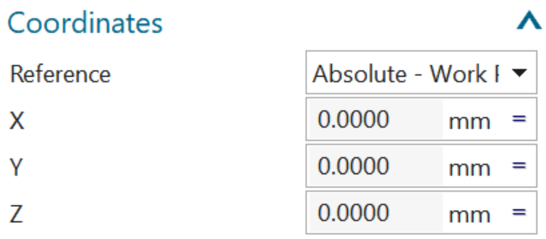


	↑ Name	Formula	Value	Units	Dimensionali	Type	Sourc
1	Default Group						
2	p7_x	P1_	0	mm	Length	Number	
3		P1_X		mm	Length	Number	
4	p0	P1_Y	0	mm	Length	Number	
5	p1	P1_Z	0	mm	Length	Number	
6	P1_X	0	0	mm	Length	Number	
7	P1_Y	0	0	mm	Length	Number	
8	P1_Z	0	0	mm	Length	Number	
9	p2	0	0	mm	Length	Number	
10	P2_X	2	2	mm	Length	Number	
11	P2_Y	5	5	mm	Length	Number	
12	P2_Z	0	0	mm	Length	Number	
13	p3	0	0	mm	Length	Number	
14	P3_x	5	5	mm	Length	Number	
15	P3_y	-10	-10	mm	Length	Number	

Σχήμα 5.5.6. Παράθυρο Expressions για προσδιορισμό παραμέτρων σημείου

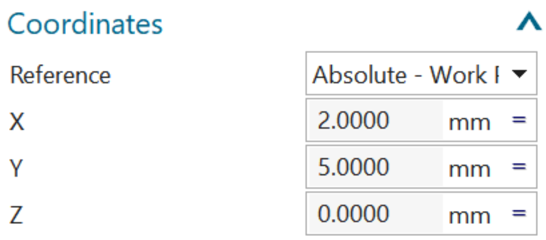
Για το πρώτο σημείο, για την παράμετρο X, επιλέγεται στο κελί της Formula, η επιλογή του ήδη καθορισμένου σημείου από το χρήστη για τον άξονα X.

Με αντίστοιχο τρόπο συνεχίζεται η διαδικασία για τις παραμέτρους Y και Z, έως ότου έχει πλήρως καθοριστεί το πρώτο σημείο ελέγχου της καμπύλης.



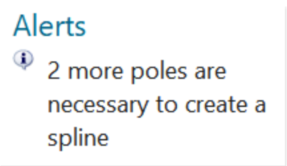
Σχήμα 5.5.7. Παράθυρο Coordinates πρώτου σημείου

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία και για τις 3 παραμέτρους του πρώτου σημείου, εμφανίζεται το μεταποιημένο παράθυρο του Coordinates, το οποίο πλέον περιλαμβάνει τις τιμές των X,Y,Z σύμφωνα με τις εξισώσεις στον πίνακα τον εκφράσεων.



Σχήμα 5.5.8. Παράθυρο Coordinates του δεύτερου σημείου

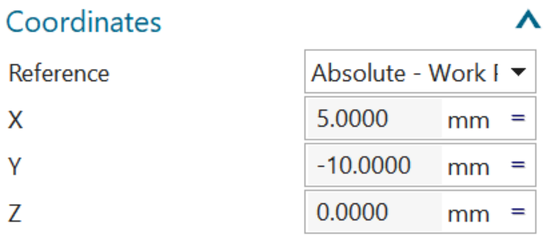
Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για το δεύτερο σημείο ελέγχου (Control Point), όπου συνδέεται με τις τιμές των παραμέτρων του δοσμένου P_2. Πραγματοποιώντας τη διαδικασία για τους άξονες X,Y και Z και πατώντας <OK> παρουσιάζεται το νέο παράθυρο Coordinates του δεύτερου σημείου, σύμφωνο με την αντιστοίχηση των συντεταγμένων με τις δεδομένες τιμές.



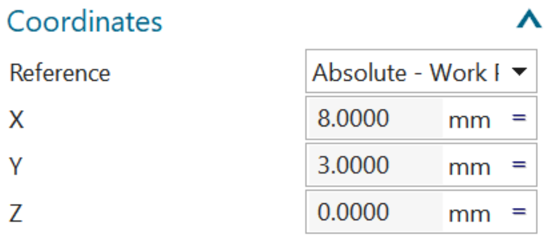
Σχήμα 5.5.9. Παράθυρο Alerts

Παράλληλα παρατηρείται ότι ενώ γίνεται η συμπλήρωση του πίνακα και η αντιστοίχηση των παραμέτρων των ζητούμενων σημείων ελέγχου με αυτές των επιλεγμένων από τον χρήστη, παρουσιάζεται κάτω δεξιά ένα πινακάκι ''Συναγερμού'' (Alerts), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5.9. Το πινακάκι αυτό υπενθυμίζει στον χρήστη πόσους ακόμα πόλους / σημεία ελέγχου είναι απαραίτητο να δημιουργήσει με σκοπό την σχεδίαση της ζητούμενης καμπύλης (Ο αριθμός των σημείων διαφέρει ανάλογα με τον βαθμό της καμπύλης).

Εφόσον υπενθυμίζεται στον χρήστη ο αριθμός των υπόλοιπων σημείων ελέγχου που πρέπει να προσδιοριστούν, συνεχίζεται η ίδια διαδικασία για τους επόμενους δύο πόλους, με τα νέα παράθυρα συντεταγμένων των P_3 και P_4.

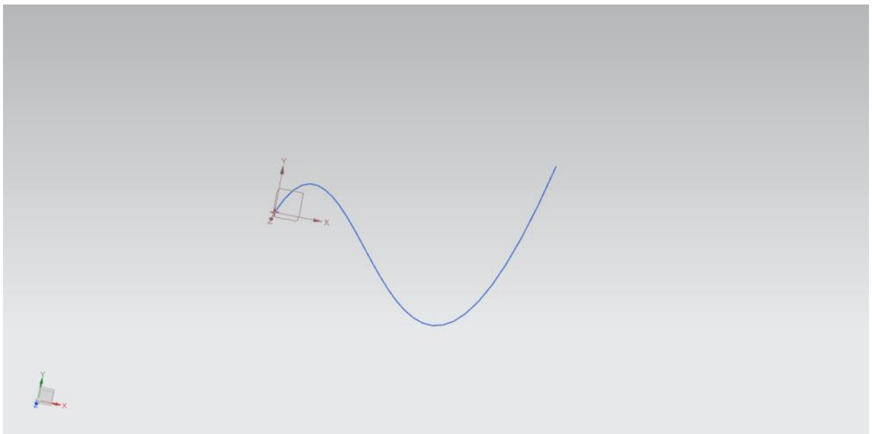


Σχήμα 5.5.10. Παράθυρο Coordinates τρίτου σημείου



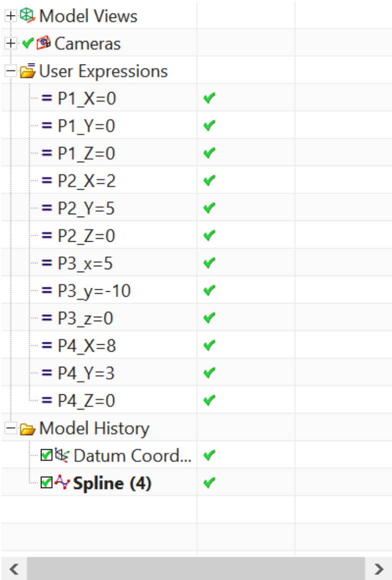
Σχήμα 5.5.11. Παράθυρο Coordinates τέταρτου σημείου

Όλα τα σημεία της καμπύλης Bezier τρίτου βαθμού έχουν αντιστοιχηθεί με τα ανάλογα σημεία του εργαλείου εκφράσεων (Expressions), στα οποία δίνονται τιμές από τον χρήστη. Μετά το τέλος της διαδικασίας αντιστοίχησης που περιγράφηκε, πατώντας το πλήκτρο <OK>, εμφανίζεται στο σχεδιαστικό περιβάλλον του χρήστη η καμπύλη Bezier σύμφωνα με τα δεδομένα που όρισε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η καμπύλη που προέκυψε παρουσιάζεται στο σχήμα 5.5.12.

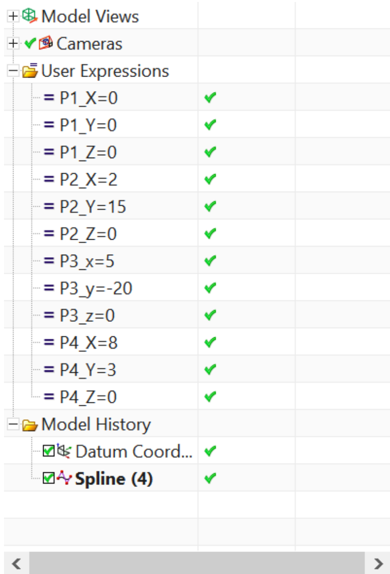


Σχήμα 5.5.12. Καμπύλη Bezier στο περιβάλλον NX

Όπως και στα προηγούμενα παραδείγματα, παρατηρείται στα αριστερά του σχεδιαστικού περιβάλλοντος μια στήλη με τις λεπτομέρειες του σχήματος. Επιλέγοντας κάποιο από τα δεδομένα αυτής και μεταβάλλοντας την τιμή του, γίνεται αυτόματα η μετατροπή της υπάρχουσας καμπύλης.

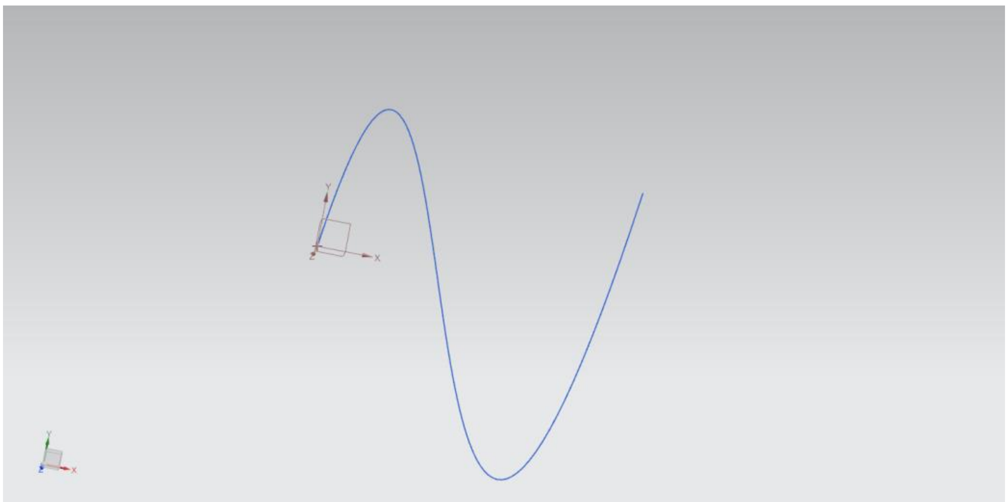


Σχήμα 5.5.13. Λεπτομέρειες καμπύλης Bezier



Σχήμα 5.5.14. Αλλαγή στις λεπτομέρειες της καμπύλης Bezier

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έγινε μεταβολή των τιμών της παραμέτρου Y του σημείου ελέγχου P_2, από 5 σε 15. Ακόμη άλλαξε η τιμή της παραμέτρου Y του σημείου ελέγχου P_3, από -10 σε -20. Ως αποτέλεσμα έχει την μετατροπή της αρχικής καμπύλης Bezier σε μια νέα, η οποία παρουσιάζεται στη συνέχεια στο Σχήμα 5.5.15.



Σχήμα 5.5.15 Νέα καμπύλη Bezier

6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε η αναπαράσταση καμπυλών στο σχεδιαστικό περιβάλλον του NX 12.0 Siemens, μέσω του εργαλείου εκφράσεων (Expressions). Αφού έγινε η θεωρητική ανάλυση της παραμετρικής αναπαράστασης για καμπύλες διαφόρων μορφών, ακολούθησε η έμπρακτη χρήση της θεωρίας στις μαθηματικές εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στον πίνακα Expressions. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι πολλαπλές ιδιότητες του εργαλείου αυτού, καθώς όπως παρουσιάστηκε και στα παραδείγματα, ανάλογα με το πόσο σύνθετη είναι η καμπύλη η οποία σχεδιάζεται, τα Expressions μπορούν να βρουν λειτουργία είτε στην εξ’ ολοκλήρου σχεδίαση της καμπύλης από το μηδέν, είτε στην εισαγωγή των σημείων ελέγχου της καμπύλης στο εργαλείο, με σκοπό την γρήγορη κι εύκολη μεταβολή της καμπύλης.

Τα παραδείγματα παρουσιάζονται με σειρά αυξανόμενης δυσκολίας και πολυπλοκότητας, ενώ σημαντικό συμπέρασμα αποτελεί το γεγονός ότι γνωρίζοντας τις μαθηματικές εξισώσεις από τις οποίες αποτελείται μια καμπύλη, δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα εύκολης και γρήγορης σχεδίασης, χωρίς να είναι απαραίτητη κάποια προϋπάρχουσα γνώση στο σχεδιαστικό κομμάτι του λογισμικού NX Siemens.

7. Βιβλιογραφία

Νικόλαος Μπιλάλης / Εμμανουήλ Μαραβελάκης, Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση, 2014

Αντωνιάδης Αριστομένης, Μηχανουργική Τεχνολογία Τόμος Α’, 2017

Γεράρδης Στέφανος ,Τεχνολογίες κατεργασιών κοπής, 2021

J.E. Akin , FEA Concepts: Concept of Stress Analysis,2009

Bathe K.J., Finite Element Procedures. Prentice Hall Inc, New Jersey, 1996.

Hughes O. Ship Structural Design: A rationally-based, computer-aided

optimization procedure. SNAME, New York, 1996

Νίκος Κανδεράκης, Κινηματική, 2016

Howard H. Hu, Computational Fluid Dynamics, Fluid Mechanichs (5^{th} Edition), 2012

University of Athens, Thermal Analysis, 2014

Περικλής Ακρίβος, Φυσικές μέθοδοι στην ανόργανη χημεία, Θερμική Ανάλυση, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2016